

جمهوری اسلامی ایران

وزارت آموزش و پرورش

شیمی

سال دوم

آموزش متوسطهٔ عمومی

علوم تجربی - ریاضی و فیزیک

۲۲۷

بسم الله الرحمن الرحيم

شیمی

سال دوم

آموزش متوسطهٔ عمومی

علوم تجربی ـ ریاضی و فیزیک

۱۳۶۰

پدیدآورندگان :

مؤلفان : منصور عابدینی مرتضی خلخالی کرامت‌الله مهربان
کارشناس سازمان کتابهای درسی: علی‌اکبر نوروزی

صفحه‌پرداز : **(سازمان کاوش) علی‌اصغر ظریفیان**

چاپ از : چاپ سکه

فهرست

سخنی چند با همکاران گرامی

مقدمه‌ای بر هدفها و روشها

دگرگونیهای عظیمی‌که در بیست سال اخیر در کیفیت آموزش و پرورش جهان روی داده است، باز تابی است از نیازهای روز افزون و متغیر جوامع امروزی. گسترش تکنولوژی در کلیهٔ زمینه‌ها از یک‌سو و تغییرات پی‌درپی در شیوه‌های زندگی و روابط انسانی از سوی دیگر، مسائل فراوانی را به‌بار آورده‌است. در چنین شرایطی‌برنامه‌ها و روشهای‌آموزش‌سنتی یارای پاسخگویی به نیازها را نداشته واز همگامی با تحولات شگرف زندگی امروز باز می‌ماند.

در نیم‌قرن گذشته، رشد عظیم دانستنیها (پدیده‌ای که به انفجار دانش معروف شده است)، باعث افزایش روز افزون حجم برنامه‌ها و کتابهای درسی می‌شد و بیش از پیش مقامات آموزشی، معلمان و دانش آموزان را تحت فشار قرارمی‌داد. تلاش عظیم دانشمندان، محققان، روان‌شناسان و معلمان به این نتیجه رسید که تنها راه حل این مسائل، باز شناختن نیازها، هدفها، روشها و کاربرد مفاهیم جدید یادگیری است.

با کنار گذاشتن مفهوم قدیم یادگیری که بیشتر روی انتقال دادن انبوه معلومات به مغز دانش‌آموزان تأکید می‌کرد و با توجه به مفاهیم جدید "یادگیریهای رفتاری" در راه حل مسائل فردی و ملی در آموزش و پرورش گامهای بلندی برداشته شد. هم اکنون میزان یادگیری هر فرد رادرتوانایی و مهارت او در به‌کار بستن‌دانستنیها و اصول‌علمی هنگام‌قرارگرفتن درموقعیتهای جدید و برخورد با شرایط متغیر زندگی علمی و اجتماعی می‌دانند. با این ترتیب روش قدیمی و سنتی عرضه کردن واقعیتهای علمی (Scientific Facts) فراوان در کتابها و انتقال دادن فرمایشی و یک طرفه آنها به وسیلهٔ معلم و بالاخره به خاطر سپردن موقت آنها توسط دانش‌آموز وپس‌دادن‌آنهابه‌هنگام امتحان مورد نظر نیست زیرا عملا" ارزش قابل توجهی نداشته وتغییر مؤثری در رفتار او از لحاظ طرز تفکر، کسب‌مهارتهاوپرورش نگرشها و معیارهای مطلوب علمی و اجتماعی به وجود نمی‌آورد.

طراحان برنامهٔ جدیدشیمی طی چهار سال تلاش و تحقیق گسترده خود در دفتر تحقیقات و برنامه‌ریزی درسی وزارت آموزش و پرورش و آگاهی از تلاشها، کامیابیها و ناکامیهای بسیاری از کشورهای‌جهان‌در امر آموزش علوم، همچنین مطالعهٔ انتشارات و توصیه‌های مجمع کشورهای اروپایی (OECD) دربارهٔ آموزش شیمی دبیرستانی وطرحهای‌آموزش علوم وابسته به انجمن معلمان علوم امریکا (NSF و NSTA) ، انجمنهای معلمان‌علوم و طراحان برنامه‌های نافیلد و

(School Councils) انگلستان، انتشارات مربوط به آموزش شیمی در کشور اتحاد جماهیر شوروی و بالاخره‌توصیهٔ سازمان یونسکو و گزارشهای آن دربارهٔ تلاشهای کشورهای در حال‌رشد و برنامه‌ریزیهای جدیدآنهااز جمله در افریقا و آسیا به این نتیجه رسیده‌اند که کلیهٔ کشورهای جهان پیشرفته و در حال پیشرفت در راه پاسخگویی به‌نیازهای علمی و اجتماعی خود، مسیر سنتی و توصیفی آموزش شیمی را کنار گذاشته‌اند.

با دوری جستن از بیان توصیفی واقعیتهای علمی فراوان مربوط به تک‌تک عناصر و حل مسائل عددی و وقت‌گیر متعدد که در چهار چوب نوعی شیمی تجزیه قدیمی استوار می‌باشد و مصداق واقعی در آزمایشگاه دبیرستانی دانش‌آموز یا کارگاه شغلی وحرفه‌ای آینده او ندارد، تحول بزرگی‌در جهت‌پرورش دیدعلمی و تفکر منطقی همچنین کسب مهارت در تجزیه و تحلیل یافته‌های محیطی و مشاهدات گوناگون، انجام دادن پیشگوییها و داوریهای صحیح و بالاخره فراگیری راه و رسم یادگیری و معلومات سازی به وجود آمده است.

طراحان برنامه و مؤلفان کتابهای شیمی با توجه به مسائل اجرایی و کلاسهای پر جمعیت فعلی در ایران همچنین در نظر گرفتن آرزوها و طرحهای توسعهٔ آینده و بالاخره کمک گرفتن‌از نیروی‌فکری دانش‌آموزان که همواره علاقه‌مند به درک علتها و درگیری شخصی در تعبیر وتفسیر رویدادها و انجام‌دادن داوریها می‌باشند، درصدد برآمدند که طرحی جهت تنظیم یک دورهٔ آموزش شیمی عمومی برای رشته‌های ریاضی ــ فیزیک و علوم تجربی تنظیم کنند. بدیهی است که چنین طرحی نمی‌تواند ترجمه یا اقتباس مستقیم از یک طرح خارجی که برای شرایط دیگری تنظیم شده است، باشد. هم‌اکنون طرحهای جدید آموزش علوم در جهان پیشرفته که بر اساس نیازها، هدفها و با تکیه بر روشهای نوین آموزش علوم تنظیم شده‌اند یادگیرنده را محور فعالیتهای آموزشی قرارداده و بر کسب مهارتها توسط خود دانش‌آموز تأکید می‌کنند.

بدیهی است که علاوه بر تفاوتهای فرهنگی، نسبت دانش‌آموزان به معلم در کلاسهای پر جمعیت‌فعلی‌ایران و کمبود فضای کافی برای فعالیت عملی مناسب همه دانش‌آموزان، از جمله عوامل مهمی است که مانع استفاده مستقیم از یک طرح پیشرفته خارجی می‌باشد. با توجه به چنین شرایطی و باآرزوی ایجاد تحول در امر آموزش و پرورش فرزندان خود، مقدمات تنظیم یک طرح ایرانی فراهم‌گردید که درحال‌حاضر، به صورت یک دوره شیمی عمومی برای چهارسال متوسطه ارائه شده است. امید است که‌همواره‌این کتابها با همکاری دبیران گرامی تجدید نظر شوند و کتابهای راهنمای معلم، نشریات جنبی، نمونه پرسشهای هدف‌دار و نرم افزارهای آموزشی مربوط به آنها نیز به تدریج تنظیم و منتشر شود.

با توجه به اظهار نظرهای دبیران و ارزشیابی‌های انجام یافته، اقدام به تجدید نظر برنامه‌های چهارساله شده بطوریکه در کتابهای سال ۶۰ ــ ۵۹ قسمتی از مفاهیم‌شیمی از سالهای آخر متوسطه به سال‌های قبل که ظرفیت بیشتری داشته انتقال داده شده است.

برخی از ویژگیهای کتابهای جدید شیمی و روشهای آنها

علاوه بر هدفها و روشهای کلی مورد بحث که همواره در مد نظر بوده است، نکات زیرنیز در تنظیم این کتابها رعایت شده است؛

۱ــ فلسفه و خط مشی اساسی کتابها بر اساس پرورش فکر، تحقیق دربارهٔ علتها و عدم ارائهٔ فرمایشی و بدون دلیل بسیاری از مفاهیم و واقعیتهای علمی استوار شده است.

۲ ــ بیان هر مطلبی با مقدمه‌ای شروع می‌شود که درآن مسئله یا معمایی مطرح می‌شود ویا این که اهمیت فراگیری مطلب عنوان می‌گردد، تا ضمن تحریک حس کنجکاوی دانش‌آموز، او را به مطالعه و جستجوی پاسخ و تفسیر مناسب علاقه‌مند نماید.

۳ ــ دانستنیها و مهارتهای مورد نیازبرای فراگیری هرمطلب جدید پیش از آغاز آن فراهم گردیده‌است. به همین دلیل ساختمان اتم و پیوند شیمیایی که اساسی‌ترین پیش نیاز علم شیمی می‌باشند در برنامهٔ سال دوم آمده است. برای آسان کردن مطلب، حداکثر استفاده از شکلها، تصاویر، نمودارها و اعدادبه‌عمل‌آمده تا دانش‌آموز از راه "تفکر شهودی"،تصور بهتری‌برای برخی مفاهیم مجرد داشته باشد.

۴ ــ از انرژی یونیزاسیون عناصر به‌عنوان کلید راهنمای آسان برای کشف ساختمان اتم و پیشگویی برخی رفتار عناصر در اغلب فصول این کتابها استفاده شده است.

تحقیقات سازمانهای برنامه‌ریزی شیمی در سطح جهانی نشان می‌دهد که دانش‌آموز دبیرستانی از راه بررسی مجموعهٔ اعداد انرژی یونیزاسیون و مقایسه آنها خیلی آسانتر از راه بررسی طیف عناصر ودرگیری با مفاهیم مشکلترفیزیکی و اعدادکوانتایی به پیچیدگیهای ساختمان اتم می‌رسد. اضافه بر این، با مراجعه به اعداد انرژی یونیزاسیون هریک از گروههای عناصر می‌توان پیشگوییهای فراوانی دربارهٔ خواص تناوبی آنها انجام داد و بدینسان راه رهایی از حفظ کردن بسیاری از واقعیتهای علمی خسته کننده تأمین می‌گردد.

۵ ــ به علت کمبود امکانات آزمایشگاهی، تاسرحد امکان از مشاهدات و مثالهای روزمره زندگی که دانش‌آموز با آنها آشنایی دارد، استفاده شده است.

۶ ــ در تنظیم آزمایشها، تلاش فراوانی به عمل آمده که خیلی ساده باشند و با وسایل اولیهٔ ارزان قیمت، قابل اجرا باشند. دانش‌آموزان در بسیاری از موارد، با تدارک ساده‌ای، می‌توانند چنین آزمایشهایی را در منزل نیز انجام دهند.

۷ ــ ضمن یادآور شدن اهمیت انجام دادن آزمایش و لزوم درگیری مستقیم دانش‌آموز با آن که راه صحیح‌جمع‌آوری مشاهدات و جستجوی نظامها یا پیشنهاد فرضیه‌ها و امتحان صحت آنها می‌باشد، طرح اغلب آزمایشها طوری است که هرگاه آزمایشی به علتی انجام نگیرد، لطمهٔ شدیدی به جریان فراگیری دانش‌آموز، وارد نمی‌شود. درصورتی که آزمایش بسیار ساده و حتی در منزل نیز قابل اجرا باشد، نتیجه‌گیری به عهدهٔ دانش‌آموز واگذار شده و هرگاه احتمال

اجرای آن کمتر باشد، سبک پرسشها و توضیحات داده شده طوری است که در مجموع به نتیجه‌گیری کلی کمک می‌نماید. بدیهی است که دبیر نیز می‌تواند نقش مهمی در بررسی و کمک در تفسیر و تعبیر نتایج آزمایش داشته باشد.

۸ــ از مهمترین‌نکات دیگر مورد توجه درگیر شدن دانش‌آموز با مسائل و معماهای زیادی است که خود با استفاده از نیروی‌فکری و مراجعه‌به چند جدول یا مأخذ و پیروی از روش علمی (که بتدریج با آن خو می‌گیرد) ، به آسانی آنها را حل کرده و در این راه اعتماد به نفس و ارزش بیشتری برای تواناییهای خود پیدا می‌کند. انعکاس مستقیم این موضوع روی افزایش علاقهٔ دانش‌آموزان به درس شیمی و معلم آن در چندین کلاس تجربی که برای امتحان این برنامه به کار رفته ،ثابت شده است.

۹ ــ تعداد مفاهیم کلی باتوجه به حجم کتاب، زیاد نبوده و در عوض فرصتهای فراوانی برای ذکر مثالها و بررسی مطالب به روش پرسش و پاسخ، اختصاص داده شده تا از درک عمیق‌و همه جانبهٔ آنها توسط دانش‌آموزان، اطمینان حاصل شود.

۱۰ــ پرسشهای فراوانی که برای هریک از مباحث و فصلها ترتیب داده شده در سطحی بالاتر از حافظه و به خاطر سپردن مطالب می‌باشد. اغلب پرسشها هدفهای یادگیری بالاتری را در سطح درک و فهم، کاربرد مفاهیم و روشها، تجزیه و تحلیل داده‌ها، فرضیه سازی و یا خلاقیت، تعقیب می‌نمایند.

۱۱ ــ در تشریح مطالب، حتی‌الامکان سعی شده که کتاب به صورت خود آموز درآید و بسیاری از بررسیها داستان‌وار و به صورت بحث و گفتگوی زنده با دانش‌آموزان باشد. بدین ترتیب دبیران محترم نیازی به جزوه گفتن پیدا نمی‌کنند و فرصت کافی برای بررسی‌های‌کلی و فعالیتهای عملی به‌دست می‌آورند.

۱۲ــ با وجود وقت محدودی که برای تألیف کتابها در اختیار بود، کوشش به عمل‌آمدتا از مثالهای گوناگون صنایع ملی استفاده شود ومثالهایی از ارتباط معلم با زندگی انسانی ارائه گردد.

۱۳ ــ طرح کلی برنامهٔ چهار سالهٔ شیمی نظام جدید متوسطه بدین‌صورت است که شیمی سال اول‌شامل یک‌دوره شناخت‌سادهٔ مواد ،مفاهیم اولیهٔ شیمی و فرمول‌نویسی می‌باشد .

برنامهٔ شیمی‌سال‌اول که‌حد واسط‌میان‌علوم دورهٔ راهنمائی وشیمی متوسطه است ، شامل آگاهی‌ازروش‌علمی و اصول‌مشکل‌گشایی همراه با آموختن مفاهیم‌اولیهٔ شیمی از جمله فرمول‌نویسی و نامگذاری مواد می‌باشد . این بررسی‌ها بطور ساده و بدون استفاده از ساختمان الکترونی اتم صورت می‌گیرد .

در شیمی سالهای دوم و سوم ، یک دوره مفاهیم اساسی شیمی بر مبنای ساختمان‌الکترونی اتم و درک رابطه میان ساختمان مولکولی و خواص مواد بررسی می‌شود که حتی‌الامکان در جهت درک علتها و پیشنهاد فرضیه همچنین انجام دادن پیشگوییها و پرورش مهارتهای ذهنی و عملی

می‌باشد . بدیهی است که این بررسیها همراه با آزمایش ، مشاهده و شناخت بیشتر برخی مواد شیمیایی است . برنامهٔ شیمی سال چهارم شامل بررسیهایی دربارهٔ برخی ترکیبهای معدنی و آلی می‌باشد .

برنامهٔ شیمی سال چهارم شامل کاربرد مفاهیم قبلی در انجام دادن برخی بررسیهای کلی دربارهٔ ترکیبهای معدنی و آلی می‌باشد . این بررسیها هرگز در جهت آموزش یک دوره شیمی توصیفی به سبک سنتی و مطالعهٔ انواع ترکیبهای معدنی و آلی نبوده بلکه بیشتر آموختن برخی اصول کلی با استفاده از مثالهایی در شیمی معدنی یا آلی می‌باشد .

۱۴ ــ برای تأمین انگیزش بیشتر و جلب همکاری فکری دانش‌آموز در فرآیند یادگیری، روش قدیمی‌معرفی مستقیم‌یک مفهوم از راه‌تعریف و توضیح‌مقدماتی و سپس استشهاد به آزمایش یا مثال، کنار گذاشته شده و از روش "از مشاهده تا مفهوم " استفاده شده است. برای اجرای‌این روش، راههای گوناگونی پیشنهاد شده است که برخی یا همهٔ آنها برای رسیدن به هریک از مفاهیم به کار گرفته می‌شوند. یادآور شدن مشاهده‌های گوناگون دانش‌آموز از پدیده‌های‌روزمره زندگی و همچنین‌مشاهده‌مستقیم از آزمایشهای‌ساده‌ای که‌مطابق دستورالعمل کتاب درآزمایشگاه یا منزل انجام می‌دهد، مشاهده آزمایشهای نمایشی ساده‌ای که به‌وسیله دبیر در کلاس انجام می‌گیرد و بالاخره مشاهده گزارش آزمایش یا جدولهاو شکلهایی که در کتاب آمده است، همگی راههای گوناگونی‌هستند که دانش‌آموز را با صحنه یا مسئله‌ای روبرو می‌کنند و او را برای تعبیر و تفسیر آن و کشف نظامها تشویق می‌نمایند.

مثالهایی از هدفهای یادگیری در این کتاب

چون آگاهی‌از نوع‌انتظارات مورد توجه در فعالیتهای یادگیری، اهمیت زیادی درمشخص کردن نوع مفاهیم و دانستنیها، همچنین روش ارائهٔ درس و روشن کردن چگونگی ارزشیابی‌کار دانش‌آموزان و یادگیریهای‌رفتاری آنان‌دارد، از اینرو به‌جاست‌نمونه‌هایی‌از انتظارات یادگیری را دراین‌کتاب‌در زمینه‌های‌سه‌گانه شناختی‌و ذهنی، پرورش‌ارزشها و نگرشهای مطلوب و بالاخره کسب مهارتهای عملی از نظر بگذرانیم :

الف ــ مثال یادگیری‌های رفتاری در قلمرو شناختی و ذهنی

۱ــ در سطح به خاطر سپردن : دانستنیهای مشخصی دربارهٔ برخی مطالب از قبیل ذکر برخی عوامل‌مؤثردرآلودگی‌محیط زیست ، جای فلوئور و سزیم درجدول تناوبی ، تعریف الکترونگاتیوی ، موارد کاربرد ترکیبات سدیم و بالاخره یادآور شدن نکات ایمنی در آزمایش با فلز سدیم .

۲ــ در سطح درک و فهم (یا تعبیر و تفسیر)

بررسی برخی روابط ساده علت و معلولی مانند افزایش شعاع اتم کلر هنگام تبدیل شدن

به یون منفی ، رابطهٔ الکترونگاتیوی دوعنصر با میزان قطبی‌بودن پیوند میان اتمهای‌آن ، علت بالا بودن نقطهٔ جوش ترکیبهای یونی و علت عبور جریان الکتریسیته از فلزها و توجیه علت آزاد شدن گرما در یک واکنش گرمازا .

۳ ــ درسطحهای بالاتر کاربرد، تجزیه وتحلیل، خلاقیت و داوری

مثال یادگیریها در اینجابه ترتیب عبارتنداز:

ذکر علت بالابودن نقطهٔ جوشH_2Oو پایین بودن نقطهٔ جوشH_2S، چگونگی تهیهٔ برم از برمید پتاسیم ،محاسبه حجم‌گاز ئیدروژن‌حاصل از واکنش ۰/۲۳ گرم سدیم با آب،بررسی عوامل متعدد مؤثر برتغییر خواص فلزی به غیر فلزی دریک دوره از جدول تناوبی، مقایسهٔ نقطه‌های ذوب و جوش چند ماده و پیشنهاد فرضیه‌ای برای بیان تغییرات نوع پیوند در آنها، استفاده‌از نمودار انرژی یونیزاسیون برای تعیین ترازهای فرعی انرژی دراتم و بالاخره پیشنهاد فرضیه‌های انواع پیوندهای شیمیایی با استفاده از جدول مشخصات فیزیکی مواد مختلف در فصل سوم و یا پیشنهاد رابطه قانون تعادل با استفاده از یافته‌های چند آزمایش و بررسی جدول اعداد مربوط به آنها .

ب ــ پرورش ارزشها، نگرشها و معیارهای مطلوب انسانی

ــ جلب توجه دانش‌آموز در لزوم عدم قضاوت سریع در برخورد با صحنه‌های زندگی و پرهیز از اظهار نظرها و داوری بر مبنای یک داده آزمایشی یا یک‌خبروشایعه. برای مثال رسیدن به مفهوم انواع پیوندهای شیمیائی در فصل سوم پس از مطالعه نقطه‌های ذوب و جوش تعداد زیادی مواد صورت می‌گیرد و به یک یا دو ماده اکتفا نمی‌شود . همچنین رسیدن به رابطهٔ قانون تعادل در فصل پنجم بر اساس تحقیق در نتایج پنج آزمایش برنامه‌ریزی شده صورت گرفته‌است .

ــ جلب توجه دانش‌آموزان به محدودیتها و عدم قطعیتها درهرنظام و قاعده‌ای و ایجاد آمادگی برای پذیرفتن وجود برخی استثناهاوناهماهنگیها ــ مثال آن برخورد با مواردا‌ستثنایی درخواص تناوبی عناصر ، همچنین تغییرات انرژی یونیزاسیون عناصر یک گروه و امکان حل شدن جزئی شیشه درآب ، وجود یک و یا چند مورد استثنایی مانع از استفاده از یک فرضیهٔ صحیح نمی‌شود . برای توجیه این‌محدودیتهانیز به انجام‌تحقیق‌وپیشنهادفرضیه‌های‌جدیدمی‌پردازیم .

ــ جلب توجه دانش‌آموزان به خطرات آلودگی محیط‌زیست و پرورش نگرش مطلوب نسبت به پاک‌سازی‌آن و علاقمندشدن به همکاری دراجرای‌مقررات حفاظت منابع‌محیطی .

ــ پرورش روح همکاری گروهی میان دانش‌آموزان . مثال آن همکاری دانش‌آموزان درانجام دادن آزمایشهای مربوط به سرعت‌واکنش‌ها و مقایسهٔ نتایج بدست آمده بوسیلهٔ گروههای مختلف به‌منظور رسیدن به یک نظام و نتیجهٔ کلی .

ــ ارج و اعتبار قائل شدن به کار و کوشش دانشمندان و تلاش آنان برای پیشرفت دانش

بشری و تأمین رفاه انسانی، مثال آن شرح حال پاولینگ و بیان نقش شیمی‌دانان در زندگی انسانی.

ـ ارج و اعتبارقائل‌شدن برای کوشش و تلاش برخی سازمانهای ملی در راه پاک‌سازی محیط زیست و استفاده از گازهای نفتی برای ساختن انواع فرآورده‌های پتروشیمی در کشور. در این برنامه، مانند نتیجه‌گیریهای حاصل از آزمایش شمع مربوط به برنامهٔ سال اول، این هدف مهم تعقیب می‌شود که دانش‌آموز به جمع‌آوری گزارشهای علمی توجه کند و آنها را با استنباطهای خود و دیگران نیامیزد. تشخیص مشاهده‌های عینی از استنباطها و اظهار نظرهای شخصی یا شایعات، نخستین گام در راه فرضیه‌سازی و داوریهای صحیح است.

پ ـ مثال یادگیریهای رفتاری در قلمرو پرورش مهارتهای عملی

ـ کسب‌مهارت درکارکردن با برخی مواد شیمیایی و توجه به‌نکات ایمنی مانند کارکردن با فلز سدیم، آتش زدن ئیدروژن و رقیق کردن اسیدسولفوریک غلیظ.

ـ ثبت‌دقیق نتایج‌آزمایشها و مشاهده‌ها به منظور جستجوی نظام و پیشنهاد فرضیه. مانند ثبت نتایج آزمایشهای کات کبود و تجزیه آن به‌وسیله حرارت.

ـ سوار کردن دستگاهها و ابزار آزمایشگاهی و کارکردن‌صحیح باآنها.

بدیهی است که یادگیری معمولی دانش‌آموزان ترکیب و تلفیقی از هدفهای تشریح شده فوق می‌باشد. طرح پرسشهای هدف‌دار و ارزشیابی از یادگیریهای دانش‌آموزان نیز از مرز محفوظات گذشته و شامل هدفهای‌گوناگون در سطحهای‌مختلف و زمینه‌های سه‌گانه فوق می‌شود.

آرزومندیم که تلاشی محرک، جالب و پاداش‌دهنده باشد. همکاری و اظهار نظر و ارائه هرگونه پیشنهاد و اصلاحی در فعالیتهای تجدید نظر و تکمیل این طرح اثر به سزایی خواهد داشت.

مقدمه برای دانش‌آموزان عزیز

برنامه شیمی امسال شما، شامل مجموعه جالبی از دانستنیها، مفاهیم و اصول شیمیایی همچنین روشهای رسیدن به‌آنها می‌باشد. با بررسی این برنامه مهارتهای زیادی دربارهٔ چگونگی استفاده ازمشاهده‌های روزمره و آزمایشهای ساده برای رسیدن به مفاهیم مهم شیمی به دست می‌آورید. با اصول‌مشاهده علمی و ثبت و بررسی نتایج آنها آشنا می‌شوید. به‌روش مقایسه یافته‌ها و کشف نظامها یا پیشنهاد فرضیه‌ها آگاهی می‌یابید و بالاخره به لزوم امتحان فرضیه‌ها و چگونگی داوری و تشخیص فرضیه‌های صحیح از غلط یا خوب از بد پی می‌برید.

برای رسیدن به مفاهیم این برنامه راه و رسم دانشمندان را طی می‌کنید و فرصتهایی جهت بررسی منطقی مسائل مطرح شده پیدا خواهید کرد. با بررسی ارتباط شیمی و مفاهیم آن با زندگی روزمره و اقتصاد ملی به اهمیت دانستنیهای‌این علم و روشهای آن در زندگی خود پی می‌برید.

امید است گام نهادن در این راه همراه با پرورش ارزشها و کسب معیارهای انسانی و نگرشهای مطلوب‌تری نسبت به محیط زیست و زندگی باشد. لذت وپاداشی را که از راه تحقیق‌و استدلال شخصی و کشف نظامها و انجام پیشگوییهای علمی به دست می‌آورید، هم شما را از قید به خاطر سپردن بسیاری از واقعیتهای علمی رها می‌سازد و هم اعتماد به‌نفس‌واعتقاد به توانایی‌های فردی شما را می‌افزاید و مشوق خوبی برای بررسی کامل و عمیق این درس و به کار بستن روشهای علمی آن در زندگی می‌باشد.

در این بررسی‌ها پی خواهید برد که دانش هرشخصی به مقدار دانستنیها و محفوظات او بستگی نداشته بلکه به مهارت او در به کار بستن دانستنیها هنگام نیاز و برخورد با مسائل علمی و زندگی مربوط است.

با توجه‌به اصل‌محدودیت در قلمرو فرضیه‌های علمی و وجود استثناها در نظامهای علمی پی خواهید برد که امکانات انسانی در پاسخ دادن به کلیهٔ پرسشها محدود بوده و همواره نیازمند به تحقیق، مطالعه و انجام دادن تعبیر و تفسیرها و پیشنهاد فرضیه‌های تازه‌ایست.

بدیهی است که انتظار شما از دبیر خود دراین راه علمی، در حد یک دائرةالمعارف‌و تحویل دهنده دائمی معلومات نخواهدبود بلکه بیشتر متوجه کسب راهنمایی، آموختن چگونگی یادگیری و نحوه استفاده از مشاهده‌ها، جدولها و منابع گوناگون برای رسیدن به مفاهیم‌آن خواهد شد.

فصل ۱

طبقه‌بندی عناصر وجدول تناوبی

۱- پیش‌گفتار

درسالهای گذشته آزمایشها، مشاهدات و بررسیهای زیادی مشابه‌باتحقیقات علمی دانشمندان انجام دادید. تحقیق شمادرباره‌ٔ کیفیت تفکیک مواد، همچنین خالص کردن ومطالعهٔ برخی خواص آنها منجر به پیدایش فرضیه‌هاومدلهایی برای ساختمان ذره‌ای موادوبرخی رفتارهای دیگر آنهاشد. دراین بررسیها بهاین‌نتیجه رسیدیدکه کوچکترین ذره‌های ماده بی‌نهایت ریزبوده و آنها را "اتم" نام‌نهادید. همچنین‌دانستید که ماده انواع گوناگون داشته وازاین رواتمهای آنها نیز گونه‌های متفاوت دارند.

افزایش‌تدریجی اطلاعات شما ودیگران دربارهٔ گوناگونی موادورفتار آنهاایجاب می‌نماید که دانستنیهارانظم‌وترتیب داده‌وآنها رابه‌طورمناسبی طبقه‌بندی کنید. طبقه‌بندی اشیا و رفتار مواد، مطالعهٔ آنهاراآسانتر نموده وبرای مانوعی اصول وطرحهای کلی به‌وجودمی‌آوردکه به کمک آنها می‌توانیم اشیاورفتارهای ناشناخته رانیز پیشگویی وکشف‌کنیم وبدین سان علم پیشرفت می‌کندوبه خدمت انسان درمی‌آید.

بشر تانیمهٔاول قرن هفدهم بااصول‌طبقه‌بندی موادوخواص آنهاآشنایی نداشت. دانش‌آموختگان‌نیزجزمطالعهٔ انبوه معلومات‌گردآمده‌وازبرکردن بسیاری ازآنها راهی درپیش‌نداشتند. روزی که رابرت‌بویل (۱۶۲۷ تا ۱۶۹۱م- Robert Boyle) دانشمندانگلیسی، طرح‌خود رادربارهٔ تعریف‌عنصر پیشنهادکردواعلام‌نمودکه نمی‌توان عنصر راباروشهای‌معمولی‌به‌اجزای کوچکتری به جزنمونه‌های همان عنصر تبدیل کرد، دانشمندان‌ومحققان‌بانظم‌بیشتری‌به تجزیه و تفکیک موادپرداختند تاآنها رابه‌موادساده وموادمرکب طبقه‌بندی کنند. دراین‌راه تعدادزیادی عناصرجدیدکشف شد. این عناصر موادی بودندکه‌تبدیل آنها به مواد ساده‌تر به روشهای معمول فیزیکی وشیمیایی امکان نداشت[۱].

۱- لاووازیه آهک‌را برحسب‌این‌تعریف عنصرپنداشت وآن رادرلیست عناصرخودگنجاند . اودربارهٔ این‌عنصرنوشت " مادام‌که‌موفق‌به تجزیهٔاین‌موادنشده‌ایم و رفتار آنها برای ما مانند رفتارمواد ساده است ، نبایدآنهارا ترکیب‌بدانیم . مگرآن‌که‌آزمایشهاو مشاهدات تازه‌تری عکس آن راثابت‌کند" . تلاش‌دانشمندان‌برای‌گداختن‌آهک‌که‌احتمالا "به‌تجزیهٔ آن‌منجرمی شد به‌نتیجه نرسید . تااین‌که‌داوی‌موفق‌شدکه آهک‌مرطوب‌را به وسیلهٔ الکتریسیته‌تجزیه کند و فرمول شیمیایی CaO را برای آن پیشنهادنمایدوبدین‌سان فلزکلسیم‌نیز کشف شد .

دراین فصل درصدد خواهیم بودکه باانجام آزمایشهای ساده، برای پی‌بردن به رفتار عناصر آنهارا طبقه بندی کنیم وطرح یامدل قابل استفاده‌ای برای خلاصه‌کردن معلومات، آسان کردن یادگیری، وانجام دادن پیشگوییهای بعدی، به‌دست‌آوریم.

۲ـ طبقه‌بندی عناصر به‌فلز و غیر فلز

همان طوری که گفته‌شد پس ازآن که بویل (درسال ۱۶۶۰) مفهوم عنصر رامعرفی کرد، تعدادزیادی عناصر جدیدکشف شدبه طوری که تعداد آنها تاسال ۱۸۶۴ به ۶۳ عنصررسید که هریک مجموعه‌ای ازرفتارهای ویژه وهمچنین ترکیبات مربوط به خود داشت.

اولین طبقه‌بندی علمی برای عناصر به‌وسیلهٔ لاو وازیه‌انجام‌گرفت. او (درسال ۱۷۸۹) در صددبرآمد که اغلب‌عناصر زمان‌خودرابراساس‌شباهتها وتفاوتهای خواص به چند دستهٔ‌گوناگون تقسیم‌کند. مبنای این‌طبقه‌بندی داشتن خواص فلزی یاغیرفلزی‌بود. شمانیز باانجام دادن‌چند آزمایش ومشاهده تحقیق خود را روی طبقه بندی‌عناصر به‌فلز وغیرفلز آغازخواهیدکرد.

الف ـ آزمایشهای مقایسهٔ خواص فیزیکی ـ ابزار وموادموردنیاز، چراغ گاز، توری نسوز، لامپ کوچک‌وسرپیچ‌آن (یازنگ‌اخبار)، سیم‌برق‌وگیرهٔ آن، پیل‌خشک (درحدود ۶ولت)، کربن (به‌صورت زغال وگرافیت)، گوگرد، میله‌هایا تیغه‌هایی‌ازآهن، مس، آلومینیم، سرب یاهرفلز دیگر (می‌توان به جای میله‌ها ازتکه‌های فلزی هم‌اندازه استفاده‌کرد.)

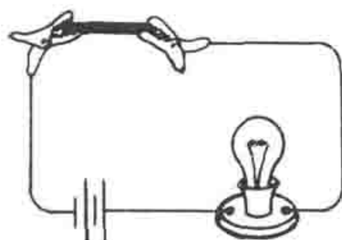
۱ـ مقایسهٔ وزن حجمی ـ بامعاینهٔ ساده‌وحدس، عناصر رابرحسب وزن حجمی‌کناریکدیگر قراردهید. با استفاده از جدول وزن حجمی (ضمیمهٔ آخر کتاب)، بررسی خود را ارزیابی کنید. هرگاه وزن این موادیکسان باشد، کدام یک بزرگترین‌وکدام یک کوچکترین‌حجم‌رادارد؟

۲ـ مقایسهٔ شکنندگی ـ جسم سنگین وسختی مانندیک چکش یاپایهٔ چراغ گاز رابه ملایمت به هریک ازمواد نامبرده بزنیدتاسختی آنهاراامتحان کنید. موادموردآزمایش رابه‌دودسته‌که‌به آسانی می‌شکنندوآنهایی که نمی‌شکنندتقسیم‌کنید.

۳ـ مقایسهٔ هدایت‌گرمایی ـ به سریک میلهٔ گرافیت‌وهریک‌ازمیله‌های‌مس، آهن‌و آلومینیم به‌کمک اندکی وازلین‌یک‌سکه بچسبانید. سردیگر میله‌ها را مطابق شکل حرارت دهید و قابلیت هدایت‌گرمایی آنهارا براساس مدت زمان لازم برای سقوط سکه‌ها مقایسه‌کنید.



۴ـ مقایسهٔ هدایت‌الکتریکی ـ یک مدار شامل‌لامپ کوچک وپیل الکتریکی‌فراهم کنید. دو سر سیمهای مدار رابه وسیلهٔ دوگیرهٔ کوچک به دوسریک‌یک مواد موردآزمایش وصل کنید. روشن شدن لامپ چه‌چیزی‌رانشان‌می‌دهد؟



کربن به‌صورت گرافیت هادی الکتریسیته می‌باشد. آیا گوگرد نیز هادی الکتریسیته است؟

۵ـ جلاپذیری ـ با یک تکه کاغذ سنباده‌ٔ نرم روی هریک از عناصر بکشید. کدام یک جلاپذیر است؟

با استفاده از نتیجهٔ آزمایشهای نامبرده یا آزمایشهای مشابه، جدول زیر را پرکنید و تفاوت عمدهٔ خواص مکانیکی و فیزیکی فلزها و غیرفلزها را نتیجه بگیرید.

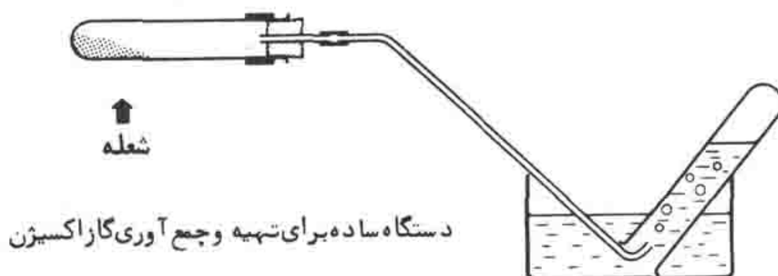
نام ماده	وزن حجمی	شکنندگی	هدایت گرمایی	هدایت الکتریکی	جلا پذیری
آهن					
مس					
آلومینیم					
سرب					
زغال					
گوگرد					

ب ـ آزمایشهای مقایسهٔ خواص شیمیایی ـ مقایسهٔ ترکیب عناصر با اکسیژن ـ می‌دانید که سوختن یک ماده در هوا یا واکنش آن با گاز اکسیژن از مشخص ترین خواص شیمیایی به شمار می‌رود و محصول عمل را اکسید می‌نامند. در این سری آزمایشها چند عنصر معروف آزمایشگاهی را درهوا یا در گاز اکسیژن سوزانده و اکسیدهای حاصل را بررسی می‌کنیم تا ضمن دنبال کردن راه و روش لاووازیه در طبقه بندی عناصر با برخی رفتارهای شیمیایی فلزها و غیرفلزها و ترکیبهای مهمی که پدید می‌آورند آشنا شویم. در آغاز بجاست مقداری گاز اکسیژن تهیه کنیم و آن را در لوله‌های آزمایش سرپوش دار نگه داریم تا به تدریج برای سوختن مواد گوناگون به کار بریم.

آزمایش تهیهٔ گاز اکسیژن ـ به یاد دارید که سال گذشته این گاز را از تجزیهٔ کلرات پتاسیم به دست آوردید. در این آزمایش روش ساده‌تری پیشنهاد شده است. این گاز را از حرارت دادن ملایم اندکی پرمنگنات به‌دست می‌آورید.

مواد مورد نیاز: لولهٔ آزمایش پیرکس (اندازهٔ متوسط) با در لاستیکی یک سوراخه، لولهٔ شیشه‌ای و لولهٔ لاستیک رابط، تشتک بزرگ، حالوله، ۵ عدد لولهٔ آزمایش پیرکس (اندازهٔ متوسط یا کوچک) برای جمع آوری گاز، وازلین، پرمنگنات پتاسیم بلورین.

درحدود ۲ گرم (یا به‌اندازهٔ یک قاشق چایخوری) پرمنگنات پتاسیم را در لولهٔ آزمایش خشکی که برای تهیهٔ گاز به کار می‌برید بریزید (هرگاه لوله‌های جمع آوری گاز ازحجم متوسط باشد، اندکی بیشتر پرمنگنات به‌کار برید). دستگاه را مطابق شکل سوار کنید.



دستگاه ساده برای تهیه و جمع آوری گاز اکسیژن

باآغاز خروج سریع ومنظم حبابهای گاز، لوله‌های آزمایش رایکی پس ازدیگری پرازآب کرده روی دهانهٔ خروج گاز درتشتک پراز آب وارونه نگاه دارید تاپرشوند. آن گاه دهانهٔ آنهارا با تیغهٔ شیشه آغشته به وازلین ببندید (چرا؟) و راست‌در جالوله نگاه دارید. این روش را "جمع آوری گاز روی سطح آب" می‌نامند. گاز یکی از لوله‌ها را با چوب نیم افروخته امتحان کنید.

توجه (۱)، هنگام تهیهٔ گازها، درلاستیکی راخیلی محکم دردهانهٔ شیشه‌قراردهید (چرا؟) و موقعیت‌دستگاه‌رانسبت به سروصورت خودطوری بگیریدکه‌هرگاه دَرلاستیکی به علت بسته شدن لوله‌وتراکم شدید گاز به خارج پرتاب شد، موادشیمیایی روی صورت‌وچشم شمانریزد.

توجه (۲)، درپایان آزمایش وپس ازمتوقف شدن خروج حبابهای گاز، لولهٔ رابط‌ودَر لاستیکی رابااحتیاط وبه کمک دستمال ازدهانهٔ لولهٔ تولیدگاز جداکرده (چرابادستمال؟) سپس چراغ گازراخاموش‌کنید. چرا؟

آزمایش‌سوختن فلز سدیم دراکسیژن ــ ابزارو موادمورد نیاز: بوتهٔ چینی یا تکهٔ چینی‌شکسته، پنس، انبرک، تکهٔ بسیارکوچک سدیم (به‌اندازهٔ یک لپهٔ‌کوچک)، معرف مانندمحلول فنل فتالئین وتورنسل.

توجه : دانش‌آموزان باید ازخطرات کارکردن بافلز سدیم آگاه باشند. برای مثال هرگز نباید به سدیم دست‌زد. معمولاً" تکه‌های سدیم رادرشیشهٔ محتوی نفت یا پارافین مایع نگاه می‌دارندتابا اکسیژن هواترکیب نشود. می‌توان سدیم رادریک هاون چینی یاروی کاغذ صافی باپنس نگه داشت‌وبه کمک چاقو برید. ولی این کاربابد توسط معلم صورت گیرد. به‌رنگ‌نقره‌ای وجلای این فلز هنگام بریدن وسپس تیره شدن فوری آن درهواتوجه کنید. پس ازمصرف‌سدیم، تکه‌های کوچک باقیمانده را به شیشهٔ سدیم برگردانید. می‌توان تکه‌های بسیار کوچکی که از بریدن‌سدیم‌باقی می‌ماند درشیشهٔ محتوی الکل معمولی انداخت وپس ازمدتی محلول رادر دستشویی دورریخت.

تکهٔ کوچک سدیم راروی ظرف چینی قرارداده وآن رابه وسیلهٔ انبرک روی شعله‌بگیرید. به‌آسان‌سوختن‌سدیم‌ورنگ‌شعلهٔ آن توجه کنید. اگرخاکستر حاصل‌را اکسیدسدیم درنظر بگیریم معادلهٔ واکنش پیدایش آن رابنویسید.

.... + ... → ....

حال چندقطرهٔ آب مقطر را به وسیلهٔ قطره چکان‌بااحتیاط روی این خاکستر بریزید. اندکی از محلول را برچند قطرهٔ محلول فنل فتالئین‌بریزید.این معرف به چه رنگی درمی‌آید؟چرا؟

هرگاه مقداری‌ازمحصول‌را بامحلول‌تورنسل بیامیزیدچه رنگی حاصل می‌شود؟اکسیدسدیم درآب حل می‌شود وئیدروکسید سدیم پدیدمی‌آورد.

معادلهٔ واکنش آن رابنویسید:



آزمایش سوختن منیزیم دراکسیژن ــ یک تکهٔ نوارمنیزیم به اندازهٔ تقریبی ۴سانتیمتررا به‌وسیلهٔ یک‌گیره‌یاپنس گرفته ویک سرآن را به‌دوریک میلهٔ شیشه‌ای بپیچیدو روی چراغ گاز بگیرید. به محض شعله ورشدن آن رادرلولهٔ محتوی اکسیژن واردکنید. ازنگاه کردن زیاد به نورخیره کنندهٔ آن بپرهیزید معادلهٔواکنش سوختن منیزیم و تشکیل‌اکسید آن‌را بنویسید:



خاکسترحاصل‌را باتکان‌دادن‌دست‌درلوله‌بریزیدواندکی‌آب‌به آن اضافه کنید. لوله‌راتکان دهیدوچندقطره‌محلول فنل فتالئین درآن بریزید. اندکی تأمل کنید. محلول‌به‌چه‌رنگی‌در می‌آید؟چرا؟ معادلهٔ واکنش اکسیدمنیزیم را باآب بنویسید:



آزمایش‌سوختن‌گوگرددراکسیژن ــ اندکی گوگرد رادرشیشهٔ ساعت‌یاهرظرف دیگری‌بریزید. سرهمزن شیشه‌ای رابرای چندلحظه روی شعلهٔ چراغ گاز بگیریدتاداغ شود. آن گاه آن رابه ملایمت تایک سانتیمتر به گوگرد آغشته کنیدومجدداً درشعله بگیریدتاآتش‌بگیرد. مشاهدات و محسوسات خودرا یادداشت کنید. سرمیله رادرلولهٔ محتوی گاز اکسیژن واردکنیدومجدداً مشاهدات خودرایادداشت‌کنید. تفاوت رنگ شعله دراکسیژن ودرهوا چیست؟ آیا سوختن‌گوگرد دراکسیژن ودرهوا تفاوت دارد؟ بینی خودرا ازلوله دورنگاه دارید، چون گاز حاصل سمی و بسیار تند وسرفه آور است. گاز گوگرد رادی اکسید گوگردمی‌نامند وفرمول شیمیایی‌آن SO_2است

معادلهٔ واکنش سوختن گوگرد را بنویسید.



بررسی برخی ازخواص گازدی اکسید گوگرد

آزمایش اول ــ یک قطرهٔ محلول بنفش رنگ پرمنگنات پتاسیم رابرکاغذصافی‌ریخته و آن را روی دهانهٔ لولهٔ محتوی گازبگیرید. چه تغییری مشاهده می‌کنید؟ گازدی اکسیدگوگرد در صنعت‌برای‌سفیدکردن موادی ازقبیل پشم‌وابریشم که مستلزم واکنش ملایم هستند به‌کارمی‌رود. می‌توان‌ازخواص سمی این گاز نیز برای نابودی میکربهای بیماری زا استفاده کرد. برخی میوه‌ها مانندزردآلووانگور رانیز قبل‌از خشک‌کردن، با این‌گاز ضدعفونی می‌کنندونگهداری‌می‌نمایند.

آزمایش دوم ــ درحدود ۳سانتیمتر مکعب آب درلولهٔ آزمایش محتوی گازدی‌اکسیدگوگرد

بریزید. دهانهٔ لوله راببندیدو اندکی تکان بدهیدتا گاز درآب حل شود. چندقطره محلول تورنسل یا یک تکه‌کاغذ آن رادرمحلول واردکنید، چه تغییری مشاهده می‌کنید؟ محلول‌گازدی اکسید گوگرددرآب چه خاصیتی دارد؟ آیااین محلول، فنل فتالئین رانیز تغییر رنگ می‌دهد؟ نام شیمیایی محلول این گاز درآب‌اسیدسولفورو و فرمول‌آن H_2SO_3 است. معادلهٔ حل شدن این گاز رادرآب بنویسید.



.... + ... → ....

آزمایش‌سوختن زغال دراکسیژن– یک تکهٔ زغال چوب را باپنس روی شعلهٔ چراغ بگیرید تاقسمتی از آن سرخ وافروخته شود. آن گاه آن رادرلولهٔ آزمایش محتوی اکسیژن واردکنید و مشاهدات‌خودرا یادداشت نمایید. سوختن زغال دراکسیژن ودرهوا چه تفاوتی دارد؟ معادلهٔ سوختن زغال را بنویسید.



.... + ... → ....

گاز دی‌اکسیدکربن آب آهک را کدر می‌کند.[1] به وسیلهٔ یک قطره چکان خالی مقداری از گاز را بگیرید و در محلول تازهٔ آب آهک که در لولهٔ آزمایشی وجود دارد وارد کنید. علت کدرشدن آب‌آهک، پیدایش کربنات‌کلسیم‌است که به‌صورت رسوب‌سفید نامحلول آشکارمی‌گردد.



$$CO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O$$

علامت (↓) نشانهٔ نامحلول بودن است.

یک نتیجه‌گیری کلی – بااستفاده از نتایج این آزمایشها عبارت زیر را کامل کنید:

محلول‌اکسیدهای‌فلزی‌سدیم‌و منیزیم‌درآب‌خواص. . . . داشته ومحلول‌اکسیدهای‌غیرفلزی گوگرد وکربن خواص. . . . دارد.

درآینده‌خواهیم‌دیدکه نمی‌توان‌این نتیجه‌گیری رابرای کلیهٔ اکسیدهای فلزی وغیرفلزی قائل شد.

۳- بررسی‌گروهی عناصر

کارهای لاووازیه درتقسیم بندی عناصر به فلز وغیرفلز وبررسی رفتارآنها براساس خواص فلزی‌وغیرفلزی‌آغازکارونشانه‌ای‌ازوجود نوعی روابط‌ودسته بندیهادرعناصر بودولی هرگزطرحی روشن‌وپاسخی قانع کننده برای‌پرسشهای گوناگون به شمارنمی‌رفت. مرحلهٔ بعد، ادامهٔ طبقه بندی وپیدایش گروههای کوچکتری بودکه شباهت میان خواص آنهابیشتر است. این نوع طبقه

۱– برای تهیهٔ‌آب آهک، اندکی اکسیدکلسیم یا آهک زنده را در آب ریخته‌به هم‌می‌زنند و شیر آهک حاصل را صاف می‌کنند.

بندی امکانات مطالعهٔ عمیق تروانجام پیشگوییهای بیشتری رادربارهٔ رفتارعنصریاخصوصیات ترکیبهای آن فراهم می‌نماید. باشناختن خواص کلی یک "خانواده" ازعناصر نزدیک به یکدیگر می‌توان به آسانی دربارهٔ خواص تک‌تک آنها پیشگوییهایی کردوبدین سان ملزم به ازبرکردن انبوهی ازخواص و واقعیتهای گوناگون نمی‌شویم.

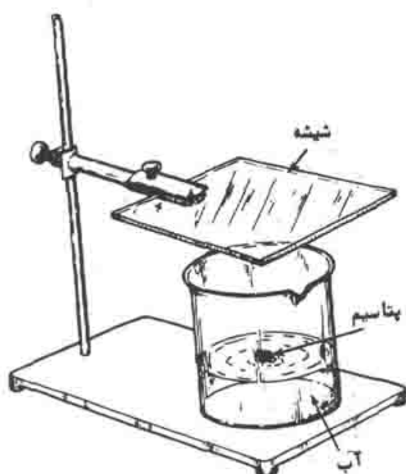
دراین مبحث بدون توجه کامل به مراحل تاریخی پیدایش طبقه‌بندی، برخی گروههای عناصررا مورد مطالعه قرارمی‌دهیم‌تابه مواردتشابه خواص، تفاوت خواص وبالاخره‌تغییرتدریجی خواص پی ببریم وبه یک سری اصول ومفاهیم کلی وسودمندبرسیم.

الف ـ گروه فلزهای قلیایی ـ معروفترین عناصر این گروه لیتیم (Li)، سدیم (Na)و پتاسیم (K) است. همگی بسیارفعال بوده ومیل زیادی برای ترکیب بااکسیژن ورطوبت هوا دارند.ازاین‌رودرآزمایشگاه‌آنهارازیر نفت نگاه می‌دارند.ترکیبهای سدیم و پتاسیم درسلولهای موجودات زنده وجود دارند. با انجام آزمایشی،آشنایی بیشتری بااین عناصر خواهیدداشت.

آزمایش ـ ابزار ومواد موردنیاز: بشر بزرگ، صفحهٔ شیشه‌ای به اندازه‌های تقریبی ۱۰×۱۰ سانتیمتر (اندکی بزرگترازدهانهٔ بشر)، گیره‌وپایه، شیشهٔ ساعت کوچک سه‌عدد،پنس، چاقو یا تیغ، کاغذ صافی، تکه‌های ریزسدیم، پتاسیم‌ولیتیم (به اندازهٔ یک‌لپهٔ کوچک ازهریک)، محلول فنل فتالئین.

تا $\frac{1}{4}$ حجم بشر را آب ریخته و دستگاه را مطابق شکل آماده کنید.

تکهٔ پتاسیم‌را باپنس گرفته‌وباکاغذصافی خشک کنید. تکهٔ کوچکی ازآن رادرشیشهٔ ساعت باچاقوببریدوبادورکردن‌صورت خود، آن را آرام دربشر بیندازیدوفورا" صفحهٔ شیشه‌ای محافظ را روی آن قراردهید. چه مشاهده می‌کنید؟شعلهٔ دیده‌شده نشانهٔ آزادشدن یامصرف کردن انرژی است؟ این تغییر شیمیایی را گرمازایا گرماگیرمی‌نامند؟شعلهٔ‌حاصل نتیجهٔ‌سوختن‌گاز ئیدروژن حاصل ازتأثیر پتاسیم برآب است. حرکت سریع‌وموشک وارپتاسیم‌راروی آب چگونه می‌توان‌توجیه‌کرد؟دوقطره‌فنل فتالئین دربشر بریزید. چه‌فرضیه‌ای‌برای پیدایش رنگ‌ارغوانی پیشنهاد می‌کنید؟ معادلهٔ واکنش فلز پتاسیم با آب رابراساس این فرضیه بنویسید.



دستگاه‌ساده‌ای‌برای‌مقایسهٔ شدت واکنش فلزهای‌قلیایی‌با آب



علامت ↑ برای گازوموادفراراست. بشر رابشویید وآزمایش را باتکهٔ کوچکی از سدیم تکرار کنید. چه تفاوت‌و چه تشابهی در مشاهدات شما نسبت

به آزمایش قبلی باپتاسیم وجود دارد؟

برای کمک درتشخیص نوع گاز تولیدشده می‌توان آزمایش تأثیر سدیم را برآب در لولهٔ آزمایش کوچکی انجام داد. هرگاه شعلهٔ کبریت را با احتیاط به دهانهٔ این لوله نزدیک کنید، صدای انفجاری را می‌شنوید. آیا این پدیده به تشخیص نوع گاز تولیدشده کمک‌می‌نماید؟ معادله واکنش سدیم را با آب بنویسید.



هرگاه بدانیدکه لیتیم نیزاز خانوادهٔ سدیم وپتاسیم است، انتظار چه نوع واکنشی برای آن باآب دارید؟ آیا نمی‌توان پیش‌بینی‌کردکه این عنصر کم وبیش خواص سدیم و پتاسیم رادارد؟ آزمایش‌را بالیتیم تکرارکنید تابه‌میزان صحت‌پیش‌بینیهای‌خودپی ببرید. شدت‌واکنش‌کدام یک ازاین سه‌عنصر در ترکیب با آب بیشترو کدام یک کمتر است؟ آنها رابرحسب افزایش تدریجی شدت واکنش کناریکدیگر قراردهید. آیاباکاهش جرم اتمی، ازشدت واکنش آنها کاسته می‌شود یا به‌آن افزوده می‌گردد؟ بااستفاده ازمشاهدات خودجدول صفحهٔ بعدرا پرکنید.

این فلزها را بدین علت قلیایی گفته‌اند که در ساختمان مواد قلیایی معروفی چون NaOH و KOH وجوددارند.

عنصر	رنگ اصلی فلز	رنگ پس از مجاورت با هوا	سختی یا نرمی	رنگ شعله	گاز حاصل از اثر آب	باز حاصل از اثر آب	جرم اتمی	ظرفیت
Li								
Na								
K								

ب ــ گروه فلزهای قلیایی خاکی ــ معروفترین عناصر این گروه منیزیم، کلسیم وباریم است. خواص این فلزها نیز تاحدود زیادی نزدیک به هم می‌باشدومیل زیادی درواکنش با اکسیژن هوا وآب دارند ولی شدت آن به اندازه‌ای نیست که ناگزیر ازنگهداری آنها زیرنفت باشیم.

آزمایش ــ واکنش فلزهای قلیایی خاکی با آب ومقایسهٔ شدت واکنش آنها.

ابزار وموادمورد نیاز: لولهٔ آزمایش، قیف‌وکاغذ صافی، گیره وپایه، لولهٔ شیشه‌ای کوتاه، محلول فنل فتالئین، یک یادوتکه فلز کلسیم، نوارمنیزیم، به طول ۵سانتیمتر.

تکه‌ای کلسیم رادرلوله‌ء آزمایشی که تا $\frac{1}{4}$آن آب مقطر دارد بیندازید. چه روی می‌دهد؟ آیا این عمل نیز انرژی زاست؟ به چه دلیل؟ شدت واکنش‌کلسیم باآب بیشتراست یاسدیم؟لوله‌رابادستمال‌بگیریدوکبریت افروخته رابه‌دهانه‌ءآن‌نزدیک کنید، چه روی می‌دهد؟ باسرمیله‌ء همزن‌اندکی ازمخلوط شیری رنگ باقیمانده رابرداشته وبرکاغذ بکشید. یک قطره فنل فتالئین‌برآن‌بریزید. چه‌روی می‌دهد؟ هرگاه حدس‌بزنیدکه این ماده ئیدروکسید کلسیم باشد، آیاراهی برای اثبات حدس خودداريد؟ درصورتی که مخلوط راصاف کنیدودرمایع زلال آن بدمید چه روی می‌دهد؟ معادله‌ء واکنش کلسیم رابا آب بنویسید.



آزمایش رابانوار منیزیم تکرارکنید. درابتدا سطح فلز راباچاقو یاکاغذ سنباده تمیزکنیدو در لوله‌ء محتوی آب بریزید. آیااتفاق مهمی رخ می‌دهد؟لوله‌را باگیره گرفته وروی شعله‌ء چراغ بگیرید،آیا واکنش شروع می‌شودوحبابهای گاز آزادمی‌گردد؟ واکنش منیزیم باآب شدیدتراست یاکلسیم؟ باتوجه‌به تجربیات گذشته ودانستن این که جرم اتمی منیزیم ۲۴ وکلسیم ۴۰ وباریم ۱۳۷ است آیا می‌توان امکان واکنش فلز باریم رابا آب پیش بینی کرد؟ میل واکنش فلزهای قلیایی خاکی باآب شدیدتراست یافلزهای قلیایی؟ ترکیبهای فلزهای‌قلیایی خاکی‌درآب بهتر حل می‌شوندیاترکیبهای فلزهای قلیایی؟ کلسیم‌ومنیزیم‌دربسیاری ازترکیبهای قشر زمین وخاک وجوددارند. همچنین این دوعنصر در سلول زنده یافت می‌شوند.

ج_ گروه‌هالوژنها_ این گروه‌ازمشخص ترین عناصر غیرفلزی است که چهارعنصرآنهایعنی فلوئور (F) کلر (Cl)، برم (Br)، وید (I) معروفیت زیادی دارند. درطبیعت اغلب به صورت نمکهایی ازقبیل کلرید، برمیدویدید درآب دریا وبرخی مناطق معدنی وجوددارند. انتخاب‌نام هالوژن نیز برای آنها به علت تشکیل این گونه نمکهاست (Halogen یعنی‌نمک زا). بررسی اولیه وساده‌ء این عناصر ممکن است وجه تشابه‌ودلیلی برای قراردادن آنها دریک خانواده نشان ندهد. فلوئورگازی است زردکم رنگ، کلرگازی است سبزمایل به زردولی برم مایع قرمز متمایل به قهوه‌ای وید جامد به رنگ خاکستری است. با اندکی توجه بیشتر می‌توان به خصوصیات مشترک هالوژنها پی برد. برای مثال، برم وید با مختصرحرارتی به حالت گازی درمی‌آیند. هالوژنها همگی رنگی هستندوبه صورت مولکولهای دواتمی F_2 ، Cl_2 ، Br_2 و I_2وجوددارند. همهء هالوژنها بسیار فعال می‌باشندوبه شدت بافلزها واغلب غیرفلزها ترکیب می‌شوند، می‌توان ازمحلول ید برای ضدعفونی کردن زخمهااستفاده کرد. کلربرای گندزدایی و تصفیه‌ء آب آشامیدنی به کار می‌رود وبالاخره برخی ترکیبهای فلوئور نیزدرجلوگیری ازفساد دندان موءثراست.

برای آشنایی عملی باهالوژنها وپی بردن به تغییرات تدریجی خواص آنهانیازبه تهیه‌ء اندکی گاز کلر یامحلول آن درآب داریم. به منظور صرفه‌جویی دروقت وکاهش خطرات‌احتمالی

مربوط به مصرف زیاداین گاز درآزمایشگاه می‌توان ازآب کلر یاآب ژاول به عنوان منبع گازکلر استفاده کرد.[1] آب کلر تازه به وسیلهٔ معلم دراختیار شماقرارمی‌گیردوآب ژاول دربازار تحت نامهای تجارتی گوناگون برای رنگبری، سفیدکردن پارچه‌های نخی وگندزدایی سبزیجات به فروش می‌رسد.

آزمایش ــ تهیهٔ محلول کلر و بررسی خصوصیات هالوژنها

موادموردنیاز: جا لوله وچندلولهٔ آزمایش،آب ژاول، اسید کلریدریک رقیق، برمیدسدیم یا پتاسیم، یدیدپتاسیم، تتراکلریدکربن، نشاسته.

توجه ــ ازنزدیک کردن بینی خود به گاز کلر یامحلول محتوی آن به شدت بپرهیزید. هرگاه برحسب اتفاق اندکی ازآن استشمام شد،چند قطره‌محلول آمونیاک رقیق‌یا الکل‌را برپنبه بریزیدوبه بینی خود نزدیک کنید.

۱ــ یک سانتیمترمکعب‌اسیدکلریدریک‌رقیق رابر ۲تا۳ سانتیمترمکعب‌آب ژاول‌دریک لولهٔ آزمایش بریزیدتامحلول‌کلربه‌دست آید. شاید باقراردادن کاغذسفیدپشت‌لولهٔ آزمایش بتوان رنگ گازکلر متصاعدشده راتشخیص داد.

۲ــ درحدودیک‌سانتیمترمکعب از محلول‌کلربه‌دست‌آمده رابرمحلول برمیدپتاسیم بریزید. چه تغییری دررنگ مشاهده می‌کنید؟ معادلهٔ واکنش این عمل به قرار زیر است:



$$Cl_2 + 2KBr \longrightarrow Br_2 + 2KCl$$

چرااین‌عمل‌راجانشینی‌می‌گویند؟برای تشخیص بهتر مقدارکم برم آزادشده‌می‌توان‌یک سانتیمتر مکعب تتراکلریدکربن به محلول اضافه‌کردومخلوط راتکان دادسپس‌آن راآرام‌نگاه داشت. چرا مایع به صورت دولایهٔ جداگانه درمی‌آید؟ برم به‌نسبت بیشتری درتتراکلریدکربن حل می‌شود وآن را رنگین می‌نماید، رنگ برم دراین حلال چیست؟ چرااین پدیده رارقابت میان دوحلال برای حل کردن یک ماده می‌نامند؟

۳ــ درحدودیک‌سانتیمترمکعب دیگرمحلول‌کلر رابرمحلول یدیدپتاسیم بریزید. چه‌تغییری در رنگ مشاهده می‌کنید؟ معادلهٔ واکنش این تغییر را پیشگویی کنید.



.... + ... → ...... + ...

چندقطره‌ازمحلول راکنارگذاشته وروی بقیهٔ آن تتراکلریدکربن بریزیدومانندآزمایش قبل عمل کنید.

چه تغییری مشاهده می‌کنید؟ آیادراینجا نیزرقابتی میان دومایع برای حل‌کردن‌یدوجود دارد؟ برای اطمینان بیشتر ازآزادشدن ید می‌توان ازچسب نشاسته استفاده‌کرد. اندکی آب درلولهٔ آزمایش ریخته روی شعله‌بجوشانید. به اندازهٔ یک دانهٔبرنج ازگردنشاسته رادرآن

۱ــ درآینده‌با اصول تهیهٔ گاز کلر خالص آشنا خواهید شد.

بریزیدتاچسب نشاسته به وجودآید. حال‌یک قطره چسب رابرمحلول یدی که کنار گذاشته‌اید بریزید. چه تغییری دررنگ مشاهده می‌کنید؟

این آزمایشهانشان می‌دهدکه کلرقدرت بیرون راندن بُرم وید را ازمحلول نمکهایشان دارد. به زبان دیگر فعالیت شیمیایی کلرازبُرم وید بیشتراست.

هرگاه آب برم دراختیار داشته باشید (ازبخارات سمی این محلول نیزبرحذرباشید). و آزمایشرا باآن تکرارکنید خواهیددید که برم فقط روی محلول یدیداثر می‌کند ویدآن را آزاد می‌کند.



$$Br_2 + 2KI \longrightarrow I_2 + 2KBr$$

هرگاه آب برم را بر محلول کلرید پتاسیم بریزید، آثاری از پیشرفت عمل نمی‌بینید.



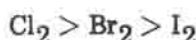
$$Br_2 + KCl \longrightarrow ?$$

ازاین‌آزمایش‌چه‌نتیجه‌ای می‌گیرید؟ کدام یک ازدوعبارت زیرصحیح وکدام‌یک‌غلط است؟

فعالیت شیمیایی برم کمتراز ید وبیشتر از کلر است.

فعالیت شیمیایی برم بیشتراز ید و کمتر از کلر است.

نتیجه‌گیری کلی، تاکنون به نتایج مهمی رسیده‌ایم. می‌توان فعالیت شیمیایی عناصرمورد آزمایش خودرابه صورت زیرمقایسه کرد.

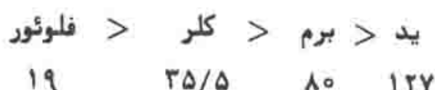


$$Cl_2 > Br_2 > I_2$$

بااستفاده ازاین مقایسه آیا می‌توانیدپیش بینی کنیدکه یدبرمحلول کلریدپتاسیم‌اثردارد یاخیر؟ برمحلول برمیدچطور؟

آزمایشهای دیگرنشان می‌دهدکه هیچیک ازاین سه عنصر برمحلول فلوئورید اثرنداردو فعالیت شیمیایی فلوئور بیش ازآنهاست. بااین ترتیب می‌توان موقعیت این عنصر را نیز در رابطهٔ مقایسه‌ای فوق مشخص کرد.

هرگاه جرمهای اتمی رانیز کنارهریک ازاین عناصر بنویسیم به نظام مهم‌دیگری‌می‌رسیم.



ید	برم	کلر	فلوئور
۱۲۷	۸۰	۳۵/۵	۱۹

(ید < برم < کلر < فلوئور)

این‌نظام چیست؟

عبارات‌زیرراکامل کنید تابه چنداصل جالب وسودمندبرسید.

هرچه وزن اتمی هالوژنهاافزایش یابد، فعالیت‌شیمیایی‌آنها . . . . می‌شود.

هرچه وزن اتمی فلزهای قلیایی افزایش یابد، شدت واکنش آنها . . . . می‌شود.

هرچه وزن اتمی فلزهای قلیایی خاکی افزایش یابد، شدت واکنش آنها . . . . می‌شود.

تمرین

معادلهٔ واکنش ترکیب برم و ید را با گاز ئیدروژن بنویسید . نام محصول عمل همچنین نام محلول آن را در آب بنویسید .

د ــ گروه گازهای بی اثر (گازهای یک اتمی)ــ تاپایان قرن نوزدهم، شیمیدانان بر این عقیده بودندکه گازهای تشکیل دهندهٔ هوا را به خوبی شناخته اند. آزمایشهای دقیقی که درحدود سال ۱۸۹۰ میلادی انجام گرفت نشان دادکه میان وزن حجمی نیتروژن حاصل ازهواونیتروژن حاصل ازترکیبهای نیتروژن دار، اندک تفاوتی وجوددارد. این تفاوت درحدود $\frac{1}{1000}$ گرم درلیتر بود. ولی دانشمندان اهمیت آن راکم نگرفته ودرپی علت بودند. تااین که درسال ۱۸۹۴ به وجودآثاری ازگازهای دیگر درنیتروژن حاصل از هوا پی بردند. چون این گازها هیچ گونه فعالیت شیمیایی نشان نمی دادندآنها راگازهای بی اثر نام نهادند. گازهای بی اثررا از مایع کردن هواو تقطیر جزء به جزء آن به دست می آورند. ازدورهٔ راهنمایی تحصیلی بابرخی گازهای بی اثر و موارد کاربردآنها آشنایی دارید.

آزمایش نشان می دهدکه گاز هلیم دومرتبه ازگازئیدروژن سنگین تراست. پس وزن ۲۲/۴ لیترگازهلیم دوبرابر وزن ۲۲/۴ لیتر ئیدروژن یعنی ۴گرم می باشد. بنابراین وزن یک ملکول گرم هلیم ۴ گرم است .

پس می توان نوشت :

$$(He)_n = 4 \quad \text{یا} \quad 4n = 4 \quad \text{ویا} \quad n = 1$$

یعنی مولکول هلیم یک اتمی است.

هلیم که سبکترین گازپس ازئیدروژن است، برای پرکردن بالنهابه کارمی رود. گازآرگن (Ar) مصرف زیادی درلامپهای الکتریکی معمولی دارد. گازنئون نیزدرلامپهای تبلیغاتی نئون که معمولا" نورقرمز نارنجی دارند، به کارمی رود.

یکی دیگرازگازهای بی اثر گزنون (Xe) است که خودداستان جالبی دارد. همان طورکه گفته شد، همهٔ شواهد دال برآن بودکه گازهای بی اثر واقعا" بی اثرهستندوفعالیت شیمیایی ندارند . ولی اتفاقی که در سال ۱۹۶۲ برای یک دانشمند جوان[1] روی داد باعث تغییر عقیدهٔ همگان و اصلاح نظریهٔ بی اثربودن این گازهاشد. این دانشمند باحرارت دادن فلز پلاتین در گاز فلوئورودرمجاورت هوا انتظار تشکیل فلوئوریدقرمزرنگ پلاتین راداشت که ناگهان به مادهٔ زردرنگ دیگری دست یافت. با تجزیهٔ این ماده برای اومسلم گشت که به ترکیبی ازسه عنصر پلاتین، فلوئورو گزنون دسترسی پیداکرده است ($XePtF_6$). پس ازاین تاریخ، دانشمندان دنبال تهیهٔ ترکیبهای دیگری شتافتندودراین راه موفقیتهایی نصیبشان شد. باهمهٔ این

۱ــ Bartlett بارتلت کانادایی .

رویدادها، دانشمندان تاکنون گازهای بی‌اثر را عملاً" بی‌اثر می‌دانند. زیرا پایداری ترکیبهای آنهانسبت به سایر عناصر بی نهایت کم بوده وهمهٔ آنهادرشرایط غیرعادی به‌دست می‌آیند و به زودی‌تجزیه می‌شوند. حال بااین توضیح، دلیلی برای یک اتمی بودن مولکولهای کلیهٔ این گازها بیان کنید.

۴ـ تفاوت خواص وجدول تناوبی

بااطلاعات گوناگونی که تاکنون دربارهٔ عناصر وترکیبهای آنهابه‌دست‌آورده‌ایم، می‌توانیم طرح جامع وسودمندی برای آرایش دادن آنها کناریکدیگرداشته باشیم. بررسی گروهی چهار خانواده ازعناصر فلزهای قلیایی، قلیایی‌خاکی، هالوژنهاوگازهای بی‌اثر، روابط و تغییرات تدریجی خواص رادرون هریک ازخانواده‌هانشان داد، ولی رابطهٔ میان گروههاواحتمال‌وجود نوعی نظام‌وتغییرات‌مشخصی‌رادرآنها نشان نداد. بدیهی است هرچه دانستنیهای ما دربارهٔ موادگوناگون‌افزایش یابد، امکان پیدایش گروههاوخانواده‌های دیگر، همچنین‌کشف روابط‌میان آنها بیشتر می‌شود.

پیشنهادطرحی‌برای آرایش عناصری که تاکنون شناخته‌ایم ــ دراین مبحث سعی خواهیم کردکه عناصر وگروههایی راکه تاکنون شناخته‌ایم،طوری کناریکدیگر قراردهیم‌که آرایش آنها تصادفی‌نباشدوتاآنجایی که ممکن است مشمول نظمهاوتغییرات مشخصی شود. طرحی راکه فعلاً" می‌توان پیشنهادکردبه قرارزیراست؛

طرح پیشنهادی فعلی جاهای خالی زیادی داردکه به تدریج وبراثر کسب معلومات‌جدید آنها راپرخواهیم کرد. تنهاعنصری که آشنایی کمتری باآن داریدودراین طرح ارائه‌شده‌است، سیلیسیم (Si)می‌باشد که‌به‌علت‌تشابه‌خواص‌باکربن به اتفاق آن در یک گروه قرارگرفته‌است. برای‌مثال‌کربن‌درگاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) وسیلیسیم درسیلیس (SiO_2) نیزچهارظرفیتی‌است.

گروه هشتم	گروه هفتم	گروه ششم	گروه پنجم	گروه چهارم	گروه سوم	گروه دوم	گروه اول	
He ۴								عنصر جرم اتمی
Ne ۲۰	F ۱۹	O ۱۶	N ۱۴	C ۱۲			Li ۷	عنصر جرم اتمی
Ar ۴۰	Cl ۳۵/۵	S ۳۲	P ۳۱	Si ۲۸	Al ۲۷	Mg ۲۴	Na ۲۳	عنصر جرم اتمی
						Ca ۴۰	K ۳۹	عنصر جرم اتمی

بامطالعهٔ ساده روی این طرح به مسائل زیربرخوردمی‌کنیم:

آرایش عناصر طوری است که هلیم که سبکترین گاز بی اثراست (He =۴) در رأس خانوادهٔ گازهای بی اثر ودرسمت راست قرارگرفته است. عنصر بعدی فلز قلیایی‌لیتیم (Li=۷) است که درابتدای دورهٔ دوم ودرسمت چپ آمده‌است. پس ازآن نوبت به‌عناصربعدی‌می‌رسدکه هریک برحسب افزایش تدریجی جرم اتمی‌درستون عناصر مربوط به خانوادهٔ خودقرارمی‌گیرد و بدین سان به دومین گازبی‌اثر که نئون است (Ne =۲۰) می‌رسیم.

ردیف‌سوم‌مجددا" بایک فلز قلیایی سدیم، (Na =۲۳)، آغاز می‌گرددوعناصر سنگین‌تر درسمت راست آن قرارمی‌گیرندتااین که به سومین‌گازبی‌اثر که آرگن‌است (Ar =۴۰) می‌رسیم.

نظامی که دراین طرح به چشم می‌خورد، شروع هرردیف (یادوره) از عناصر بایک فلز قلیایی ورسیدن به‌یک هالوژن وسپس به‌یک‌گازبی‌اثراست(به‌جزدورهٔ اول). این‌نوع تکرارخواص راکه درهریک از "دوره‌ها" دیده‌می‌شود"تناوب خواص"می‌نامندوبه‌همین‌علت‌می‌توان جدولی‌را که شامل چنین طرحی است "جدول تناوبی" نام نهاد. درزندگی روزمره نیز باموارددیگری از تکرارهای تناوبی برخوردمی‌کنیم‌که نمونهٔ آنهاتکرارفصول سال وتکرارپیدایش میوه وسبزیهای فصل است.

مسئلهٔ جالب دراین طرح پیشنهادی آن است که تغییرات تدریجی خواص درهریک از خانواده‌ها رعایت شده وآرایش عنصر برحسب افزایش تدریجی جرم اتمی، نظم آنها رابرهم نزده است. برای مثال، گروه هالوژنهاازبالا با فلوئور شروع‌شده وبه ترتیب به کلر، برم و ید می‌رسد.فلزهای‌قلیایی وفلزهای قلیایی خاکی نیز باهمان نظم تدریجی خوددرستونهای‌مربوطه قرارگرفته‌اند.

برخی ازنظامهای دیگرکه دراین طرح به چشم می‌خورد. به قرارزیراست:

ـ فلزهادرسمت چپ وغیر فلزهادرسمت راست قرارگرفته‌اند.

ـ اکسیدهای‌عناصرسمت‌چپ‌تولیدباز واکسیدهای عناصرسمت‌راست تولیداسیدمی‌نمایند.

ـ خواص فلزی در عناصر ستون اول بسیار شدید و در ستونهای بعدی به تدریج‌ضعیف‌تر می‌شود.

ـ مولکولهای عناصر ستون هفتم دواتمی‌ومولکولهای عناصر ستون هشتم یک اتمی‌است.

حال به نظر شما، آیا نظامهای دیگری دراین‌طرح وجوددارد؟

پیشنهادجدول تناوبی مندلیف ـ حدودصدسال پیش‌ازاین دانشمندان‌برای درک روابط میان عناصر وآرایش دادن آنها کنار یکدیگر، تلاشهای فراوانی کردند. و به تناسب اطلاعات علمی‌زمان خود طرحهایی ارائه دادند. یکی ازبهترین طرحهادرسال ۱۸۶۹ به وسیلهٔ مندلیف دانشمندروسی ارائه شدکه درزمان خودکمترین نقص‌را داشت. مبنای کارمندلیف براساس همان طرحی است که مابه آن رسیدیم. این دانشمندعناصر شناخته‌شدهٔ زمان خودرا (درحدود۶۰



دمیتری ایوانوویچ مندلیف

عنصر) برحسب افزایش جرم اتمی کناریکدیگر قراردادوهمواره بهاین نکته توجه کردکه عناصر مشابه دریک خانواده قرارگیرند و عناصر ناجوری در لابهلای آنها واقع نشود.

برای رعایت این دواصل، او ناگزیر شدکه برخی خانههای خالی در نظر بگیرد و چنین فرض کند که این خانهها جای عناصر ناشناخته ای هستندکه دیریازود کشف خواهندشد. دراین راه او با جرأت زیاد وبراساس خواص عناصر همسایه توانست اطلاعات زیادی دربارهٔ عناصرمجهول پیشگویی کند. چندسالی نگذشت که دانشمندان بااستفاده ازاین پیشگوییها زودتروآسانتربه تعدادی ازعناصرمجهول دست یافتندوبدینسان فرضیههای مندلیف موردآزمایش قرارگرفت و بر اعتبارجدول افزوده شد. درآینده خواهیم دیدکه چگونه این جدول به ساختمان اتم وپی بردن به نظامهای سودمند دیگری کمک کرد. یکی ازابتکارات مندلیف درتنظیم جدول خوداین بودکه او درچندموردبرخلاف قراردادمربوط به تنظیم عناصر براساس افزایش تدریجی جرم اتمی عمل کردوبرای نجات جدول ازتناقضهای شدیدوبهمنظور رعایت اصل تشابه خواص دریک خانواده، عنصرسنگین تراقبل ازعنصر سبکتر جای داد (مانندقراردادن عنصر تلوریم Te=۱۲۷/۶ قبل ازید۱۲۶/۹= I). مندلیف شخصاً نمیتوانست برای توجیه این نقطهضعفها، دلیلی ارائه دهدزیرا این کارنیازبه فراهم شدن معلومات علمی بیشتروآگاهی ازساختمان درونی اتم داشت.

جدول تناوبی جدید ـ تجربه وتحقیق علمی نشان دادکه جرم اتمی مقیاس خوبی برای خواص فیزیکی وشیمیایی عناصر نیستوبه جای آن باید ازخصوصیت دیگری که عدداتمی نام دارداستفاده کرد. عدداتمی نمایندهٔ بارالکتریکی هستهٔ اتم است که برای هرعنصر مقدارثابت

ومعینی است[1]. بااین ترتیب مبنای طبقه بندی عناصر یا "قانون تناوبی عناصر" درحال‌حاضر بدین صورت بیان می‌شود:

"هرگاه‌عناصررا برحسب‌افزایش‌عدد‌اتمی‌کنار یکدیگرقرار‌دهیم، خواص آنها به صورت‌تناوبی تکرارمی‌شود."

با تنظیم عناصر برمبنای افزایش عدداتمی، نقایص وایرادهایی که برجدول مندلیف گرفته‌می‌شد برطرف گردید. برای مثال، علت جلوافتادن تلوریم‌ازید چنین توجیه می‌گردد‌که عدداتمی تلوریم کمتر از ید است، گو آن که جرم اتمی آن بیشترمی‌باشد.

عدداتمی عنصر ←	۵۲ Te	۵۳ I
جرم اتمی‌عنصر ←	۱۲۷/۶	۱۲۶/۹

ه- برخی از خصوصیات جدول تناوبی

مهمترین امتیازی که جدول تناوبی دارد، کمک آن درپیشگویی خواص‌عناصر وترکیبهای آنهاست. هرگاه خواهان اطلاعاتی دربارهٔ یک عنصر یاترکیبهای آنهاباشیم، می‌توانیم با دانستن‌عدداتمی یاموقعیت‌آن‌درجدول، به بسیاری‌از اطلاعات‌موردنیازخود‌برسیم. برای‌استفاده ازجدول‌تناوبی‌بایدآن راشناخت. هرچه جدول رابهتربشناسیم، بیشترازآن بهره مندمی‌شویم. دراین مبحث باگروههاو دوره‌های‌گوناگون‌جدول و نحوهٔ بهره‌برداری از آن آشنا خواهیم‌شد.

الف- بررسی گروهی عناصر درجدول تناوبی - پیش ازشروع بررسی گروهها، به‌جاست‌که موقعیت ئیدروژن درجدول مشخص شود. چون نمی‌توان وابستگی زیادی برای این عنصر با هر یک ازخانواده‌های عناصر پیداکرد. ازاین رو آن راکه عنصری است یک ظرفیتی به طور جداگانه درگوشه‌ای، بالای خانوادهٔ فلزهای‌قلیایی که آنهانیز یک‌ظرفیتی‌هستند قرارداده‌اند.

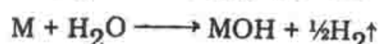
۱- خانوادهٔ لیتیم (Li) یاگروه فلزهای قلیایی (گروه I) - قبلاً" باخصوصیات این خانواده آشناشدید. این عناصر خواص فلزی قوی وفعالیت‌شیمیایی زیادی دارند، بااکسیژن ترکیب می‌شوندواکسیدفلزی‌به فرمول عمومی M_2O به وجودمی‌آورند (M نمایندهٔ فلزقلیایی درفرمول‌عمومی است).

می‌دانیدکه نقره‌نیز فلزیک ظرفیتی است وفرمول اکسیدآن Ag_2O یا M_2O است‌ولی‌هرگز نمی‌توانیدآن را دراین خانواده قراردهیدچون خصوصیات فلزهای قلیایی راندارد، مثلاً" بر

---

۱ - در فصل آینده اطلاعات بیشتری دراین‌باره به‌دست‌خواهیدآورد .

آب اثر نداردوبازمحلول به‌وجودنمی‌آورد. معادلهٔ واکنش‌فلزهای خانوادهٔ لیتیم‌با آب نشان می‌دهدکه از واکنش کامل یک مول فلزبا آب، $\frac{1}{2}$ مول گازئیدروژن به دست می‌آید.



$$M + H_2O \longrightarrow MOH + \tfrac{1}{2}H_2\uparrow$$

مطابق این معادله، ازواکنش کامل ۲۳ گرم فلزسدیم باآب، ۱۱/۲ لیتر گازئیدروژن در شرایط متعارفی به وجودمی‌آید.

پرسش ــ ازواکنش‌کامل ۰/۱۹۵ گرم ازیک‌فلزقلیایی باآب ۵۶ سانتیمتر مکعب گازئیدروژن در شرایط متعارفی تولیدشده‌است. جرم اتمی آن را معین کنید وبااستفاده‌از جدول تناوبی نام‌آن را بیابید.

پیشگویی خصوصیات عنصر سزیم (Cs)ــ بارجوع به جدول می‌بینیدکه‌موقعیت‌این عنصر که عدداتمی آن ۵۵ است، درقسمتهای پایینی گروه فلزهای قلیایی است. بنابر این بااستفاده ازاطلاعات عمومی خودپیشگویی می‌کنیدکه سزیم، فلزی است قلیایی، براق و نرم ، و شدت واکنش‌آن بیش از سدیم و پتاسیم (چرا ؟)، برآب به شدت اثر می‌کندوهرمول‌آن ، ۱۱/۲ لیتر گاز ئیدروژن درشرایط متعارفی همراه بامحلول ئیدروکسیدسزیم (CsOH) پدید می‌آورد.این ماده‌درآب محلول است وفنل فتالئین را ارغوانی می‌نماید. به همین نحوآیامی‌توانیدپیشگویی کنیدکه‌چگونه‌سزیم‌را نگاه‌دارید ؟ درمجاورت‌هوایا زیر نفت ؟ بالاخره می‌توانیدحدس بزنید کــه سزیم‌با کلرترکیب می‌شود، ونمکی به فرمول (. . . .) ورنگ (. . . .) به‌وجودمی‌آورد.آیاپیشگویی دیگری‌به‌نظرتان‌می‌رسد ؟

۲ــ خانوادهٔ بریلیم (Be)یاگروه‌فلزهای‌قلیایی خاکی، گروه (II) ــ این‌خانواده دومین ستون‌سمت چپ جدول رااشغال می‌کند. باخواص عناصر این خانواده نیزآشنایی دارید. فرمول عمومی‌اکسید آنها MO است.از واکنش کامل‌یک مول فلز قلیایی خاکی با آب یک‌مول‌گازئیدروژن آزاد می‌شود.

پرسش‌ــ هرگاه بدانید که عدداتمی باریم ۵۶ است، بااستفاده ازجدول، خواص گوناگون این عنصر راهمان طوری که برای فلز سزیم پیش بینی شده بیان کنید. به احتمال زیادبسیاری ازگفته‌های شما صحیح خواهدبود.

۳ــ خانوادهٔبور (B)،گروه (III)ــ این‌خانواده ستون (III) رادرنیمه راست‌جدول اشغال می‌کند. معروفترین عنصر آن آلومینیم است که کم‌وبیش باخواص آن آشنایی دارید و در اینجا آن رابه عنوان نمایندهٔ این گروه موردبررسی قرارمی‌دهیم.

بررسیهای قبلی شمادربارهٔ خواص فیزیکی ومکانیکی نشان دهندهٔ خواص فلزی‌آلومینیم بود. ازلحاظ خواص شیمیایی می‌توان گفت که‌این عنصر سه ظرفیتی تقریبا" درنیمهٔ راه میان فلزها وغیرفلزهاست. به یاددارید که اکسیدفلز قلیایی مانند Na_2O ، آشکارا خواص اکسید بازی راازخود نشان می‌دهدومحلول آن درآب بازمحلول به وجودمی‌آورد (NaOH)، همچنین اکسیدغیرفلزی مانند (SO_2)،آشکارا خواص اکسیداسید راداشته ومحلول‌آن درآب اسید پدید

جدول تناوبی عناصر

دورهٔ تناوب	I	II	عناصر واسطه										III	IV	V	VI	VII	VIII	چگونگی پرشدن اربیتالها
$n=1$	1 H 1.00																	2 He 4.00	1s
$n=2$	3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.8	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.0	10 Ne 20.2	2s2p
$n=3$	11 Na 23.0	12 Mg 24.3											13 Al 27.0	14 Si 28.1	15 P 31.0	16 S 32.1	17 Cl 35.5	18 Ar 39.9	3s3p
$n=4$	19 K 39.1	20 Ca 40.1	21 Sc 45.0	22 Ti 47.9	23 V 50.9	24 Cr 52.0	25 Mn 54.9	26 Fe 55.8	27 Co 58.9	28 Ni 58.7	29 Cu 63.5	30 Zn 65.4	31 Ga 69.7	32 Ge 72.6	33 As 74.9	34 Se 79.0	35 Br 79.9	36 Kr 83.8	4s3d4p
$n=5$	37 Rb 85.5	38 Sr 87.6	39 Y 88.9	40 Zr 91.2	41 Nb 92.9	42 Mo 95.9	43 Tc (99)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3	5s4d5p
$n=6$	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57–71 See × Below	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.9	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)	6s4f5d6p
$n=7$	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 See ×× Below	104 Ku 260	105 •														7s5f6d7p

$n=6$	×	57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (147)	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0		4f
$n=7$	××	89 Ac (227)	90 Th (232.0)	91 Pa (231)	92 U 238.0	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (249)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (253)	103 Lr (257)		5f

می‌آورد (H_2SO_3). اکسید آلومینیم (AL_2O_3) هرگز چنین وضع مشخصی ندارد، دربرخی مواردخواص بازی دارد ومی‌تواند اسیدهارا خنثی کند ودرموارد دیگر خواص اسیدی ازخودنشان می‌دهدوبازها راخنثی می‌نماید. هرماده که درشرایط معین خواص اسیدی ودرشرایط دیگرخواص بازی ازخودنشان دهد، آمفوتر (Amphoter) گفته می‌شود. اکسیدآلومینیم مثالی ازاکسیدهای آمفوتر است. فلزآلومینیم را نیز که چنین خواصی برای اکسید آن دیده می‌شود، فلز آمفوتر می‌گویند.

۴ــ خانوادهٔ کربن، گروه (IV) ــ در رأس این خانواده عنصری چون کربن باخواص مشخص غیرفلزی وجوددارد و پایین آن فلزهایی چون قلع وسرب دیده می‌شود. این فلزها نیز مانند آلومینیم خواص آمفوتری دارند، به طوری‌که هم خواص فلزی وهم خواص غیرفلزی از خودنشان می‌دهند.

۵ــ خانوادهٔ نیتروژن، گروه (V) ــ دربالای این خانواده دوعنصر غیرفلزی معروفی چون نیتروژن وفسفر وجوددارد که درساختمان کلیهٔ سلولهای زنده شرکت می‌کنند. همان طوری که می‌دانید اکسیدهای این دوعنصر مانند اکسیدفسفر(V)(P_2O_5) واکسیدنیتروژن(V)(N_2O_5) خواص اسیدی قوی دارند.

۶ــ خانوادهٔ اکسیژن، گروه (VI) ــ دربالای این خانواده دوعنصر غیرفلزی معروف چون اکسیژن وگوگردقرار دارند. عناصر این گروه بائیدروژن H_2O و H_2S پدید می‌آورند. درحالی‌که H_2O منبع حیات وزندگی است H_2S گازی است سمی وبدبو. این گاز که سولفید ئیدروژن یا اسید سولفیدریک نام دارد، از فساد مواد آلی گوگرددار در چاههای فاضلاب به‌وجود می‌آیدوباعث مرگ ومیرهای فراوان می‌شود.

۷ــ خانوادهٔ فلوئور یاگروه هالوژنها، گروه (VII)ــ این خانواده راکه بهتر ازسایر عناصر خواص غیرفلزی رامشخص می‌کند، به تفصیل بررسی کردید. عناصر بالایی گازی شکل، سپس مایع وبالاخره جامد می‌شوند. پنجمین عنصر این خانواده که زیر یُدقراردارد استاتین (At) نام دارد. این عنصر رادیواکتیو مدتها قبل، برای اشغال خانهٔ ۸۵ پیش بینی شده بود، ولی هرگز درطبیعت یافت نشد، تااین که درسال ۱۹۴۰ به طور مصنوعی وبه دست انسان ازبمباران عناصر دیگر به وسیلهٔ ذرات اتمی تهیه شد.

بااطلاع یافتن ازاصول کلی تغییرات خواص عناصر به ویژه هالوژنها، حالت فیزیکی استاتین راپیشگویی کنید (گاز، مایع یاجامداست؟ به چه دلیل؟) همچنین فعالیت شیمیایی آن را باسایر عناصر خانوادهٔ هالوژنها مقایسه کرده، فرمول ترکیب آن را بائیدروژن حدس بزنید.

۸ــ خانوادهٔ هلیم، گروه (VIII)ــ این خانواده که آخرین ستون سمت راست جدول تناوبی رااشغال می‌نمایدازگازهای یک اتمی تشکیل یافته که تقریبا" درواکنشهای شیمیایی شرکت نمی‌کنند و به همین علت گروه صفر نیز نامیده می‌شوند.

سنگین‌ترین عنصر در این گروه، گاز رادون (Rn) است که رادیواکتیو بوده ودرطبیعت به

مقدار بسیار ناچیزی دیده می‌شود.

۹ــ عناصر انتقالی (عناصر حدواسط یاواسطه) ــ درحدود ۷۵ درصد عناصر فلز هستند که برای سهولت مطالعه می‌توان آنها را به دو دسته تقسیم کرد. دستهٔ اول شامل فلزهای قلیایی در ستون اول، فلزهای قلیایی خاکی در ستون دوم در سمت چپ و آلومینیم همراه با چند فلز دیگر در نیمهٔ راست جدول می‌باشد.

دستهٔ دوم فلزها راعناصر انتقالی یا عناصر واسطه می‌نامیم که مثال آنها فلزهای معروفی چون آهن، نیکل، کروم، منگنز، مس، نقره، پلاتین‌وطلا می‌باشد. درحدودنیمی ازفلزهای دستهٔ دوم درمتن جدول ونیم دیگر زیرآن قراردارند.

نیمهٔ اول که درون جدول قراردارنددر۱۰ ستون‌چسبیده به هم دروسط جدول میان‌ستون دوم فلزهای قلیایی خاکی وستون سوم خانوادهٔ بورقرارگرفته‌اند. (بهاین ترتیب تعدادکل ستونهادرجدول به ۱۸ می‌رسد). اغلب این فلزها درترکیبهای خودظرفیتهای‌متغیر داشته و محلول نمکهای آنها رنگین است. برای مثال، آهن که درردیف اول‌این دسته ازفلزها قراردارد دارای دونوع نمک آهن (II)وآهن (III) (یا فرو و فریک) می‌باشند. محلول نمکهای آهن (II) سبز رنگ و محلول نمکهای آهن (III) به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای است.

عناصرواسطهٔ زیرجدول (معروف به‌عناصر واسطهٔ داخلی) در دوردیف‌قرارگرفته‌اندکه‌هر یک شامل ۱۵ عنصر فلزی بوده وخواص آنها کم وبیش یکسان است. ۱۵ فلز بالایی لانتانیدها (Lanthanides) به‌نسبت بسیارکمی درخاکها وجوددارند. ازاین روآنها را خاکهای نادر می‌نامند.

این عناصر کلاً باید درخانهٔ ۵۷ جدول قراربگیرندکه به علت نامناسب بودن جای آن، آنها راپایین‌جدول وخارج ازآن قرارداده‌اند (گاهی سردستهٔ آنها راکه لانتانم‌نام دارد در خانهٔ ۵۷ می‌نویسندو۱۴ عنصر باقیمانده رازیرجدول قرارمی‌دهند).

۱۵ عنصر دیگر که ردیف دوم رازیر جدول اشغال می‌کنندواکتینیدها (Actinides) نام دارندهمگی رادیواکتیو هستندواغلب به طورمصنوعی تهیه می‌شوند. مدت پایداری یادورهٔ زندگی این عناصر کوتاه است. کلیهٔ این عناصر اکتینید تابع خانهٔ ۸۹ هستندکه بازهم آنهارا به پایین جدول انتقال می‌دهند.

درپایان یادآورمی‌شویم که گاهی دوگروه سمت چپ و۶گروه سمت‌راست جدول‌تناوبی را گروههای اصلی یاگروههای (A) وعناصر واسطه راگروههای فرعی یاگروههای (B) می‌نامند.

ب‌ــ بررسی دوره‌ای‌عناصر درجدول تناوبی ــ براساس دیدتجربی کلیهٔ بررسیهای‌گذشتهٔ ماروی‌جدول تناوبی حاکی ازوجودتغییرات تدریجی‌درخواص عناصر هریک ازگروههابود (عناصر موجوددریک ستون). حال مطالعهٔ خودرابه صورت افقی دردوره‌ها یاتناوبهای جدول دنبال می‌کنیم تابه رابطهٔ میان گروههاو تغییرات تدریجی خواص موجوددرهریک ازدوره‌های تناوبی

پی ببریم.

چون بااغلب عناصر دورهٔ تناوبی سوم که از ۸عنصر تشکیل شده‌است، آشنایی بیشتر داریدآنها راموردتوجه قرارمی‌دهیم. این دوره باسدیم (Na) شروع می‌شودکه فلزی‌است نرم، نقره‌ای رنگ، باخواص فلزی بسیارقوی وفعالیت شیمیایی زیاد. همان طوری که می‌دانیداین‌فلز برآب سردنیز به‌شدت اثر می‌کند وگاز ئیدروژن ازآن آزادمی‌نماید. دراین عمل ئیدروکسید سدیم نیز به وجود می‌آید که درآب محلول است وفنل فتالئین رابه شدت ارغوانی‌می‌کند.

فلزدوم دراین دوره منیزیم (Mg) است که رنگ نقره‌ای وخواص فلزی قوی دارد. فعالیت شیمیایی‌آن‌کمتر ازسدیم است، با آب سردواکنشی‌نشان نمی‌دهد، ولی باآب جوش، گازئیدروژن آزاد می‌کند.

عنصر سوم که درستون سوم است ودرنیمهٔ راست جدول قراردارد، فلز آلومینیم (Al) است‌که بازهم نقره‌ای رنگ‌می‌باشد. این فلز بابخار آب دردمای بالاتر ازصد درجه ئیدروژن آزاد می‌نماید. فلز آلومینیم دارای آثاری از خواص غیرفلزی می‌باشد (AL_2O_3 آمفوتراست).

عنصر چهارم سیلیسیم(Si) است که غیرفلزی تیره رنگ باخواص شبیه کربن می‌باشد (سیلیس‌یا SiO_2 خواص اسیدی ضعیف دارد).

عنصر پنجم فسفر(P) است که ازجامدهای غیرفلزی است وخواص غیرفلزی آن نسبتا" قوی است (برای مثال P_2O_5 اکسیداسید نسبتا" قوی است).

عنصر ششم گوگرد (S) است که جامدغیرفلزی است‌وخواص غیرفلزی آن آشکارترازعناصر واقع درسمت چپ آن است.

عنصرهفتم کلر (Cl) است که گازی‌است سبز مایل به‌زرد، باخواص غیرفلزی بسیارقوی.

بالاخره درستون هشتم به‌آرگن (Ar) می‌رسیم که گازی است بی‌رنگ و بی‌اثر.

این نوع بررسی نشان دهندهٔ تغییرات تدریجی درخواص عناصر این دورهٔ تناوبی و انتقال تدریجی ازیک فلز فعال به یک گاز بی‌اثر است.

دوره‌های تناوبی دیگر جدول نیزکم‌وبیش ازچنین نظامی تبعیت می‌کنند. حال شما با استفادهٔ ازهمین نظام درتغییرات خواص، رفتارتقریبی عناصر دورهٔ دوم را که با لیتیم آغاز شده و به نئون خاتمه می‌یابد، پیشگویی کنید و برای تأیید گفته‌های خود مثالهایی از خواص برخی عناصر این دوره که با آنها آشنایی دارید بیان کنید.

پرسش و تمرین

۱ــ چه نکاتی راهنگام آزمایش بافلز سدیم رعایت می‌کنید؟

۲ــ دوروش متفاوت برای تهیه وجمع‌آوری گازاکسیژن بیان کنید. شکل دستگاههارا رسم

کنید.

۳ــ تکه‌ای ازیک فلز براق دراختیار دارید. چگونه تشخیص می‌دهیدکه این فلز کلسیم، منیزیم یا آلومینیم است؟

۴ــ جدولی ازخواص اکسیژن، ئیدروژن وآب تنظیم کنیدتا بااستفاده‌از آن‌بتوان‌این مواد را ازهم تشخیص داد.

۵ــ چرادیگهای‌آهنی‌که دائما" درتماس مستقیم باآب داغ وبخارآب می‌باشند، زودخراب وپوسیده می‌شوند؟

۶ــ منظورازیک گروه عناصر ویک دورهٔ تناوب چیست؟

۷ــ مندلیف جدول تناوبی خودرابرچه مبنایی تنظیم کرد؟ تنظیم جدول امروزی‌برچه مبنایی است؟

۸ــ فعالیت شیمیایی عناصر درگروه اول ودرگروه هفتم درچه جهتی افزایش می‌یابد؟ فعالترین فلز وفعالترین غیرفلز درکجای جدول قرارگرفته‌اند؟

۹ــ یک ایراد برجدول اصلی مندلیف بگیرید.

۱۰ــ دانشمندان‌گاهی‌ئیدروژن را (خانوادهٔ یک عنصری) می‌نامند. علت این نامگذاری چیست؟

۱۱ــ دوخاصیت مشخص برای عناصر انتقالی بیان کنید.

۱۲ــ روی کلمه‌های نادرست عبارات زیر خط بکشید.

الف ــ دریک دورهٔ تناوب خواص فلزی ازچپ به راست (افزایش، کاهش) می‌یابد.

ب ــ دریک گروه، خواص غیرفلزی ازبالابه پایین (کاهش،افزایش) می‌یابد.

۱۳ــ نام چهارفلز راکه درآب حل می‌شوند، ذکرکنید. آیامی‌توان باحرارت دادن محلول وتبخیرآب مجددا" به فلزاولیه رسید؟ منظور ازحل فیزیکی وحل شیمیایی یک ماده چیست؟

۱۴ــ هرگاه گازآرگن درآب حل‌شود. حل‌شدن آن رافیزیکی یاشیمیایی می‌دانید؟چرا؟

۱۵ــ با استفاده ازجدول تناوبی به‌پرسشهای زیر پاسخ دهید:

الف ــ آیااسترونسیم (۳۸Sr) فلزاست‌یا غیرفلز؟ محلول اکسید آن درآب اسیدی، بازی‌یا خنثی است؟

ب ــ آیامی‌توان‌پیشگویی کردکه‌ترکیبهای‌وانادیم ۲۳V احتمالا" رنگین یابی‌رنگ هستند؟

ج ــ فرمول اکسیدگالیم (۳۱Ga) چیست؟ آیابه نظر شمااین اکسیدخواص اسیدی، بازی‌یا آمفوتردارد؟

د ــ آیا سلنیم (۳۴Se) احتمالا" جامد، مایع یاگازاست؟

۱۶ــ هریک ازعبارات زیر بیان کوتاهی ازخواص یک عنصر است. به دنبال هرعبارت نام سه عنصر ذکرشده‌است. عنصری را که بابیان‌نامبرده مطابقت می‌کند، انتخاب کنید.

الف ــ عنصر A رسانای‌برق است، فرمول آن با کلر ACl_2 می‌باشد. گوگرد، سدیم، منیزیم.

ب ــ عنصر B اکسید اسید به وجودمی‌آورد. لیتیم، کلسیم، فسفر.

ج ــ عنصر C برآب سرد اثر کرده وگازئیدروژن آزادمی‌کند. سیلیسیم، رادیم (Ra)، کلر.

د ــ عنصر D بابرم ترکیب رنگینی می‌دهد. مس، پتاسیم، آلومینیم.

۱۷ــ چرابررسی اشیای گوناگون ازراه طبقه بندی بهتر ازمطالعهٔ تک تک آنهامی‌باشد؟

۱۸ــ ازواکنش ۰/۲۳ گرم فلزسدیم با آب چندسانتیمتر مکعب گازدر شرایط متعارفی آزاد می‌شود؟

۱۹ــ ازسوختن ۱۰۰ سانتیمترمکعب گازئیدروژن درگاز کلرچندسانتیمترمکعب گازکلرید ئیدروژن پدیدمی‌آید؟

۲۰ــ وزن خاکستر حاصل ازسوختن دوگرم کلسیم در اکسیژن چقدراست؟

۲۱ــ حجم ۰/۸ گرم گاز اکسیژن درشرایط متعارفی چقدراست؟ هرگاه دمای گاز به ۲۷ درجهٔ سانتیگراد وفشار آن به ۶۶ سانتیمتر جیوه برسدحجم گاز چقدرمی‌شود؟ (ازرابطهٔ حجم گاز بافشار ودمای آن که دردرس فیزیک خوانده‌اید، استفاده کنید.)

۲۲ــ هرگاه دمای هوای آزمایشگاه ۲۷/۳ درجه سانتیگرادوفشارآن ۶۰۸ میلیمترجیوه‌باشد حجم گاز آزادشده ازحل شدن‌کامل ۱/۳ گرم فلز روی خالص دراسید کلریدریک راحساب کنید.

۲۳ــ هرگاه حجم گاز ئیدروژن حاصل ازواکنش فلزکلسیم باآب درشرایط آزمایشگاهی نامبرده درتمرین قبلی ، ۷۷۰ سانتیمتر مکعب باشد، وزن تقریبی کلسیم به کار رفته‌راحساب کنید.

۲۴ــ آزمایش‌نشان می‌دهدکه جرم یک لیتر گازکلردرشرایط متعارفی برابر ۳/۱۷گرم است. ثابت کنیدکه‌مولکول این گازدواتمی است. آزمایشهای دیگرنشان داده‌است‌که مولکول گرم‌نوعی گوگرد ۲۵۶ گرم وازآن فسفر ۱۲۴ گرم می‌باشد. فرمول مولکولی گوگردوفسفر موردآزمایش را معین کنید.

۲۵ــ ۱۰۰ سانتیمتر مکعب محلول مولار (محلول‌یک‌مولکول گرم‌درلیتر) اسیدکلریدریک رابرمقدارکافی فلزروی اثرداده‌ایم چندلیتر گازئیدروژن درشرایط متعارفی ازاین واکنش‌آزاد می‌شود؟

۲۶ــ ازواکنش ۰/۰۰۲ مول فلزکلسیم باآب چند مول ئیدروکسیدکلسیم به‌دست می‌آید؟ هرگاه حجم محلول حاصل را باآب به ۱۰۰ سانتیمتر مکعب‌برسانیم، غلظت‌محلول‌را بر حسب گرم درلیتر ومولار حساب کنید.

۲۷ــ چهارلولهٔ آزمایش هریک محتوی یکی ازگازهای O_2، H_2، SO_2، و CO_2 می‌باشد. چه راهی برای شناختن هر یک از این گازها پیشنهاد می‌کنید؟ درصورت امکان معادلهٔ واکنشهارابنویسید.

۲۸ــ بااستفاده ازجدول تناوبی عناصر، فرمول اکسید، ئیدروکسید، سولفات، نیترات و

کربنات استرونسیم را بنویسید.

۲۹ـ فرمول و نام مواد مربوط را با استفاده از جدول تناوبی در خانه‌های سفید جدول زیر بنویسید .

	کلرید	ئیدروکسید	کربنات	اکسید	سولفید	نیترید	نیترات	سولفات
سدیم								
کلسیم								
نقره								
سرب								
منیزیم								
آلومینیم								
جیوه(II)								
روی								
مس(II)								
آهن (II)								
آهن(III)								

فصل ۲

ساختمان الکترونی اتم و جدول تناوبی

۱- پیش گفتار

درسالهای گذشته بامفهوم خاصیت ذره‌ای ماده آشنا شدید. نظریهٔ مربوط به ساختمان ذره‌ای ماده درحدود ۴۰۰ سال پیش ازمیلاد به وسیلهٔ دموکریت فیلسوف یونانی ارائه‌شد. او معتقدبودکه مواد ازذرات بی‌نهایت ریز وغیر قابل تجزیه تشکیل یافته‌اند. این ذرات اتم نام گرفتند. اتم ازلغت یونانی " Atomos " به معنی غیرقابل تجزیه گرفته‌شده‌است.

بحث وتحقیق دربارهٔ خاصیت ذره‌ای ماده واتم ازآن زمان تابه‌امروز ادامه‌یافت. چون تحقیق دانشمندان دربارهٔ چیزی بی‌نهایت کوچک و غیرقابل رؤیت بود که بـا قویترین میکروسکوپها نیز نمی‌توان آن را مستقیما" مشاهده کرد، از این رو بررسی علمی خاصیت ذره‌ای ماده کار آسانی نبود. تنها راه برای حل این مشکل جمع‌آوری اطلاعات و مشاهدات گوناگونی بود که در پیشنهاد فرضیه یا طرح مناسب برای تفسیر واقعیتهای علمی کمک نماید. طرح پیشنهادی دانشمندان در این مورد، تئوری یا مدل ذره‌ای ماده نام گرفت.

جان دالتون دانشمند انگلیسی (درسال۱۸۰۸-م) بااستفاده‌ازنظرات قدیمی دموکریت و تحقیقات سایر دانشمندان که کم‌وبیش به خاصیت ذره‌ای ماده معتقدبودند، باروش علمی و استدلالی، تئوری اتمی خود رابرای توجیه وتفسیر واقعیتهای علمی بیان کرد.

خلاصهٔ تئوری اتمی دالتون به قرار زیر بود:

۱ــ عناصر ازذرات بی‌نهایت ریزی تشکیل یافته‌که اتم نام دارند.

۲ــ اتمها غیرقابل تجزیه هستندوازبین نمی‌روند.

۳ــ اتمهای یک عنصر یکسان بوده ووزن واحدی دارند.

۴ــ اتمهای عناصرگوناگون وزنهای متفاوت دارند.

۵ــ درتشکیل موادمرکب ازعناصر، اتمهای آنها بایکدیگر ترکیب می‌شوندو"ذرات‌مرکب پدیدمی‌آورند.

تئوری دالتون در سالهای ۱۸۰۰ پیشنهاد گردید و از آنجا که می‌توانست پاسخگوی بسیاری از مسائل علمی آن زمان باشد، مورد قبول واقع شد. برای مثال این تئوری می‌توانست برخی پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی مانند ذوب شدن و تبخیر مواد و یا ترکیب فلز و غیرفلز را به نسبت وزنی ثابت تفسیر کند. با مرور زمان که دانستنیهای دانشمندان دربارهٔ خواص مواد و رفتار آنها افزایش یافت، تئوری دالتون نمی‌توانست در پاسخ دادن به سؤالات جدید

سودمند باشد. به‌کمک این تئوری نمی‌توان علت پیدایش نظامهای گوناگونی را که برای تغییر تدریجی رفتار عناصر در گروهها و دوره‌های جدول تناوبی دیده می‌شود، بیان کرد. همچنین نمی‌توان به‌کمک آن، پدیدهٔ الکترولیز مواد را توجیه کرد.

می‌دانیم که اگر یدیدپتاسیم مذاب راتجزیهٔ الکتریکی کنیم، یددراطراف قطب مثبت و پتاسیم در اطراف قطب منفی آزاد می‌شودوهمچنین می‌دانیم که یدیدپتاسیم نمک سفیدرنگی است که ویژگیهای یدوپتاسیم را ندارد. فارادی (Faraday)، دانشمندانگلیسی بااین که بارها آزمایش الکترولیز یدیدپتاسیم ومواددیگر راانجام داد، هرگزنتوانست تفاوت میان ید آزادوید موجودبه حالت ترکیب دریدیدپتاسیم راتوجیه کند.

درمطالعهٔ جدول تناوبی دیدیدکه جرم اتمی بسیاری ازعناصر عددصحیح نیست (مثلاً جرم اتمی کلر ۳۵/۵ است). تئوری اتمی دالتون که اتم راذره‌ای غیرقابل تقسیم می‌داند، نمی‌تواند علت کسری بودن جرم اتمی رابیان کند.

باوجوداین نقطه‌ضعفها، دانشمندان تئوری اتمی دالتون رارد نکردند زیرا این تئوری از یک سو بسیاری ازپدیده‌هاراتوجیه می‌کردوازسوی دیگر تئوری بهتری که بتواندجانشین آن بشود پیدانشده‌بود. دانشمندان برای پاسخ دادن به مشکلاتی مانند مسائل بالا ازپدیده‌هاوتحقیقات علمی گوناگونی استفاده‌کردندکه مادراین فصل، برخی ازآنها را بررسی می‌کنیم تاراهی برای پی بردن به ساختمان اتم وپاسخگویی به پرسشهای بی‌شمارپیداکنیم.

آزمایش ــ سنجش اندازهٔ مولکولها ــ همان طوری که می‌دانید اتمهاومولکولها بی‌نهایت ریز وغیرقابل‌رؤیت‌هستند. بااین ترتیب، چنین به نظر می‌رسد کــه تعیین اندازه و وزن چنین ذره‌هایی کاربسیار دشواری است.

دانشمندان برای‌حل این مشکل از روشهای غیرمستقیم استفاده می‌کنند . برای مثال ، آنان در برخی تحقیقات خود قطره‌ای از مواد نفتی یا روغنی بر سطح آب می‌ریزند و لایه‌های بسیار نازک می‌سازند که ضخامت آنها در حدود قطــر یک مولکول می‌باشد (لایهٔ تک مولکولی) هرگاه‌ما نیز چنین کاری را در آزمایشگاه انجام دهیم، تصوربهتری ازاندازهٔ مولکولها به‌دست‌می‌آوریم.

یک‌قطرهٔ بسیار کوچک مادهٔ روغنی مانند اسیداولئیک مطابق شکل به تدریج برسطح آب پخش می‌شود ودر شرایط مناسب یک لایهٔ تک



قطرهٔ روغن از قطره‌چکان جدا می‌شود.



به‌سطح آب می‌رسد و شروع به پخش شدن می‌کند.



به‌پخش شدن ادامه می‌دهد.

ضخامت لایهٔ روغن در پایان پخش شدن به‌حدود یك مولکول می‌رسد.

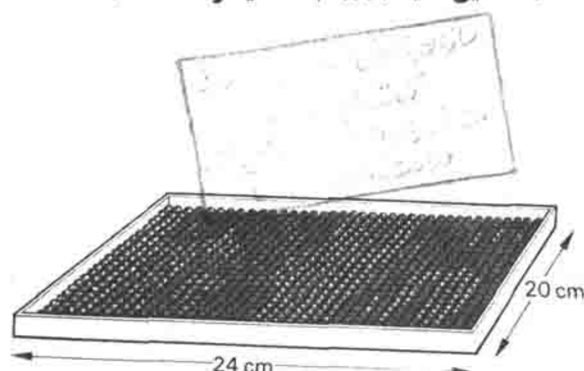
پخش شدن یک قطره روغن

مولکولی به‌وجود می‌آورد.

برای آشنایی با نحوهٔ محاسبهٔ ضخامت این لایه وقطرمولکولها بجاست‌که درابتدا تمرینی درمورد محاسبهٔ ضخامت لایه‌های نازک داشته باشیم.

گزارش یک فعالیت آزمایشگاهی: اندازه گیری قطر یک گلولهٔ سربی کوچک.

دریک‌آزمایش‌مطابق‌شکل‌زیر، مقداری‌گلوله‌های‌سربی‌کوچک را در استوانهٔ مدرج ریخته‌ایم. حجم کلی آنها ۴۸ سانتیمترمکعب شده‌است. گلوله‌هارادریک جعبهٔ تخت ریخته‌ایم، لایه‌ای به ضخامت یک گلوله پدیدآمده است. ابعاد این لایه ۲۴×۲۰ سانتیمترشده‌است.





اندازه‌گیری‌قطر یک گلولهٔ سربی‌کوچک

هرگاه ضخامت لایه (قطر گلوله) را d سانتیمتر بدانیم، چنین خواهیم داشت:

سطح کلی لایهٔ گلوله‌ها = ۲۰×۲۴=۴۸۰ سانتیمتر مربع

حجم کلی لایهٔ گلوله‌ها = سطح قاعده × ارتفاع = ۴۸۰ d سانتیمتر مکعب

ازآنجایی‌که حجم کلی گلوله‌هابه وسیلهٔ استوانهٔ مدرج ۴۸سانتیمترمکعب تعیین‌شده‌بود خواهیم داشت:

۴۸۰ d = ۴۸

d = ۰/۱ سانتیمتر

بنابراین ضخامت لایهٔ نازک گلوله‌ها که برابر قطر یک گلوله است ۰/۱ سانتیمتر یا ۱ میلیمتر می‌باشد.

اندازه‌گیری تجربی ضخامت یک لایهٔ نازک از اسیداولئیک ــ روش‌اندازه‌گیری‌ضخامت‌یک لایهٔ نازک را از آزمایش گلوله‌های سربی آموختید. حال هرگاه لایهٔ نازک ازمولکولهای مادهٔ

روغنی شکل اسیداولئیک باشد، می‌توان بادانستن سطح لایهٔ نازک حاصل ازپخش شدن قطرهٔ روغن، همچنین حجم آن به ضخامت تقریبی لایه پی برد.

آزمایش ـ اندازه‌گیری حجم قطرهٔ روغن ـ ابزار و موادمورد نیاز: سیم نازک فلزی، خط کش کوچک، ذره بین، الکل، اسیداولئیک سیم نازک رابه صورت V درآوریدوآن رابا الکل بشویید و خشک کنید. سرِ تا شدهٔ سیم را دراسیداولئیک وارد کرده و خارج کنید تا قطرهٔ بسیارکوچکی از روغن را به خودبگیرد. قطر تقریبی قطرهٔ روغن رابه کمک خط کش وذره بین اندازه‌بگیریدوسپس حجم آن راحساب کنید.

مثال: هرگاه قطرقطره ۰/۲ میلیمتر باشد وآن راکره پنداریم، حجم آن چنین خواهدبود:

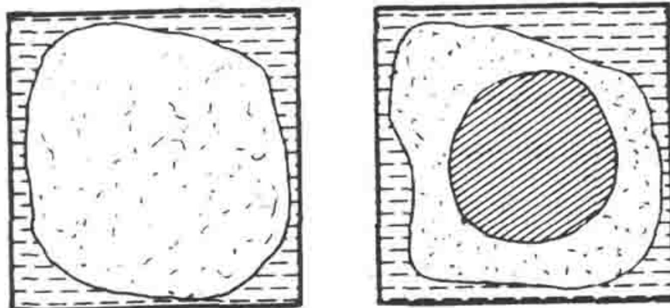
(d) قطر = ۰/۰۲ سانتیمتر

(r) شعاع = ۰/۰۱ $= \frac{1}{100} = 10^{-2}$ سانتیمتر

حجم قطرهٔ کره‌ای شکل روغن $= \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} \times 3/14 \times (10^{-2})^3 =$

$4/18 \times 10^{-6}$ سانتیمتر مکعب

آزمایش ـ اندازه‌گیری سطح روغن پخش‌شده روی آب ـ ابزارومواد مورد نیاز: گل گوگرد یاپودر تالک (پودربچه)، پارچهٔ نازک، خط کش. پس ازتمیزکردن دستشویی آزمایشگاه، راه آن را ببندید وتا ارتفاع ۳ سانتیمتر درآن آب بریزید (می‌توان به جای آن ازیک سینی یاظرف بزرگ وکم عمق استفاده‌کرد) اندکی گل گوگرد یاپودرتالک رادر پارچهٔ نازک ریخته وآن راببندید، باانگشت خود به‌ملایمت روی پارچه‌بزنید تاذره‌های ریزگوگرد یاپودربرسطح آب بریزیدو آن‌را فراگیرد. حال سیم V حامل قطرهٔ روغن را دروسط ظرف به آب بزنید. روغن با پخش شدن، ذره‌های نامبرده رابه‌اطراف می‌راند وسطح بزرگی را اشغال می‌کند. سیم رامجدداً به آب بزنیدتا ازانتقال کامل روغن به آب اطمینان حاصل کنید. چون لایهٔ نازک روغن روی آب دیده نمی‌شود، می‌توان حدودآن رابه‌وسیلهٔ ذرات گرد رانده شده، مشخص کرد. سطح تقریبی لایهٔ روغن راکه احتمالاً



گل‌گوگرد یا پودر تالک حدود لایهٔ روغن را آشکار می‌سازد.

شبیه دایره‌است به کمک خط کش محاسبه کرده یادداشت نمایید.

ثبت داده‌های آزمایش ومحاسبهٔ اندازهٔ مولکولها :

.... = قطر تقریبی قطرهٔ روغن (ازآزمایش قبلی)

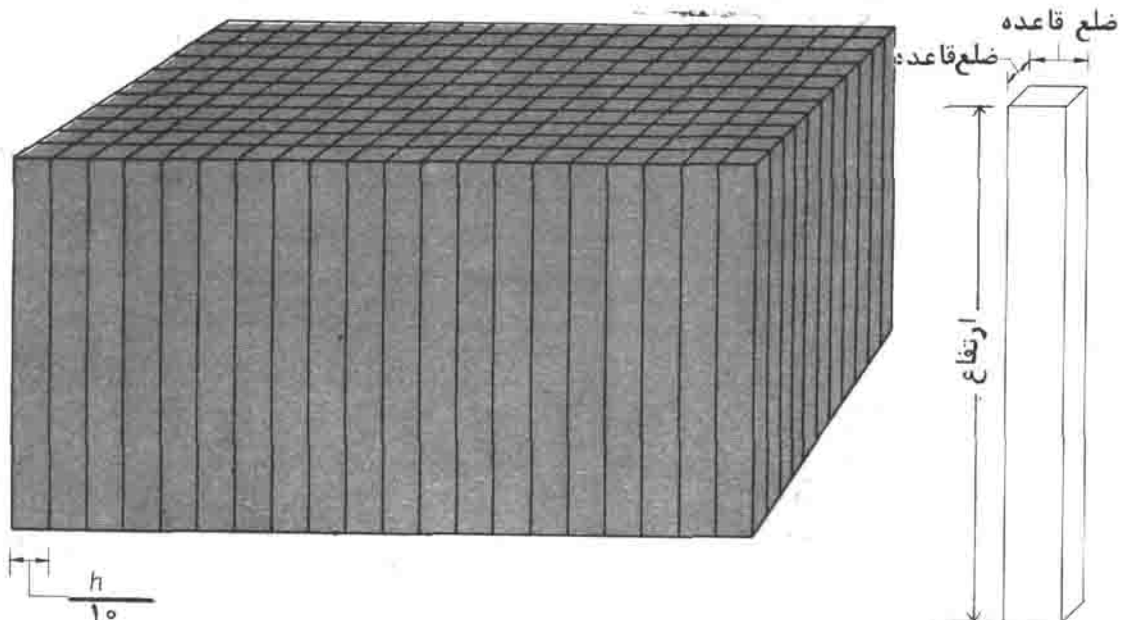
.... = حجم تقریبی قطرهٔ روغن

.... = سطح تقریبی لایهٔ روغن

.... = ارتفاع لایهٔ روغن (طول تقریبی مولکول)

برای‌به‌دست آوردن لایهٔ نازک که احتمالا" ضخامت آن یک مولکول است، باانجام دادن برخی تغییرات، همین آزمایش رابادقت بیشتری انجام می‌دهند. میانگین نتایج به‌دست آمده از ۷۰ آزمایش دریک‌مدرسه نشان داده‌است که ضخامت لایهٔ نازک هرگز از ۲×۱۰^{-۷} سانتیمتر کمترنبوده‌است. ازاین رو می‌توان این عدد رااندازهٔ احتمالی طول‌مولکول اسیداولئیک دانست. برای پی بردن به کوچکی این عدد بایدگفت که هرگاه پنج میلیون مولکول اسیداولئیک را در امتداد یکدیگر قراردهیم، رشته‌ای به طول یک سانتیمتر به دست می‌آید. اندازهٔ طول مولکول مواد دیگر نیز کم وبیش درحدودرقم $۱۰^{-۷}$ سانتیمتر می‌باشد.

مطالعه‌ای دربارهٔ مولکول اسید اولئیک ــ فرمول شیمیایی اسید اولئیک $C_{17}H_{33}COOH$ است . مولکولهای آن مانند رشتهٔ درازی‌هستند که در آن اتمهای کربن پشت‌سرهم‌قرارگرفته‌اند . این مولکولها در امتداد قائم به‌صورتی روی آب قرار می‌گیرند که سر اسیدی آنها درون‌آب و سر دیگر در بالا می‌باشد . اگر فرض کنیم که مولکول اسید اولئیک مطابق شکل زیر به‌صورت منشوری با قاعدهٔ مربع باشد ، ارتفاع این منشور (طول مولکول اسیداولئیک) تقریبا" ده برابر ضلع قاعدهٔ آن خواهد بود .



– باتوجه به اطلاعاتی که‌تاکنون به دست آورده‌اید، حجم یک مولکول اسیداولئیک را به دست‌آورید.

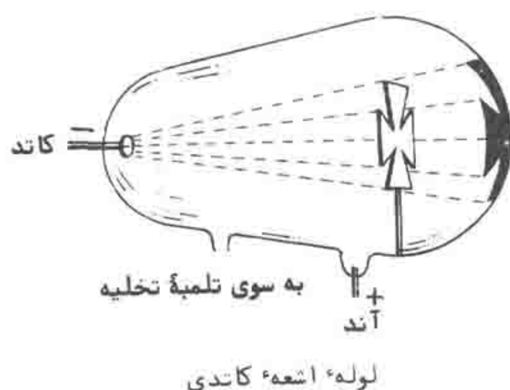
– اگر وزن حجمی اسیداولئیک را ۰/۹ گرم برسانتیمتر مکعب بگیریم، وزن یک مولکول اسید اولئیک را پیداکنید. بااستفاده از فرمول مولکولی اسید اولئیک جرم مولکولی‌آن رانیز حساب کنید.

عدد آووگادرو راسال‌گذشته شناختید. این عدد نمایندهٔ تعدادمولکولهای یک ماده‌است که دریک مولکول گرم آن (یک‌مول ازآن) وجوددارد. با در دست داشتن جرم یک مولکول از اسیداولئیک همچنین‌جرم مولکولی آن، آیا می‌توانیدعدد آووگادرو (N) راحساب کنید. چرا پاسخ شما مقدارزیادی باواقعیت اختلاف‌دارد؟ به نظر شما چه‌عواملی باعث پیدایش خطاشده است؟

۲- خواص الکتریکی ماده وساختمان اتم

درسال‌دوم‌راهنمایی‌باآزمایشهای‌الکتریسیتهٔ مالشی، چگونگی پیدایش جریان الکتریسیته والکترولیز محلول برخی از نمکها آشنا شدید. همهٔ این آزمایشها نشانهٔ وجود نوعی ساختمان الکتریکی دراتمها می‌باشد. دراین مبحث به‌شرح برخی ازآزمایشهاوتحقیقهای علمی می‌پردازیم تامارا به ساختمان اتم رهنمون شوند.

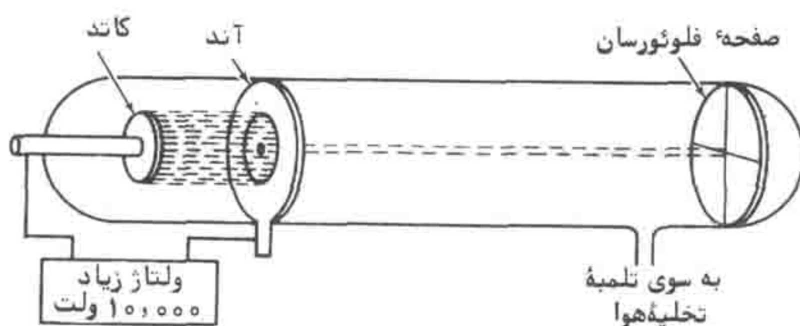
اشعهٔ کاتدی– چنانچه‌درلوله‌ای‌مطابق‌شکل زیر که در هرسر آن یک الکترودقراردارد، گازی مانند نئون قرار دهیم و بین الکترودها یک اختلاف سطح الکتریکی نسبتاً زیادی (در حدود ۱۰۰۰۰ ولت) برقرارنماییم، ملاحظه می‌شود که پس‌از کم کردن فشارگازدرون لوله ورسانیدن آن به حدود ۰/۰۱ اتمسفر جریان‌الکتریسیته‌برقرار می‌شودولوله‌روشنایی‌قرمزرنگ ومعمولی لامپهای نئون را پیدا می‌کند. باتغییر گاز درون لوله، رنگهای‌دیگری پدید می‌آید. برای مثال هوارنگ صورتی‌پریده، بخارسدیم رنگ زردپر رنگ وبخار جیوه رنگ آبی روشن و مایل به سبزی پیدا می‌کند.



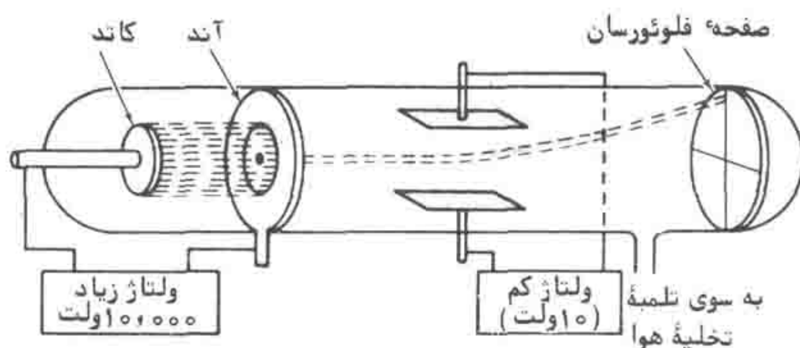
لولهٔ اشعهٔ کاتدی

هر گاه فشار گاز درون لوله خیلی کمتر شود و به حدود 10^{-6} اتمسفر برسد، روشنایی گاز از بین می‌رود و تحت چنین شرایطی فقط دیوارهٔ لوله نور سبز رنگی از خود ظاهر می‌سازد شکل‌بالا درخشندگی لوله‌را نشان می‌دهد. سایهٔ تاریکی که پشت مانع چهارپر دیده می‌شود نشانه‌ای از خارج‌شدن اشعهٔ مستقیم‌الخطی از کاتد می‌باشد. این‌اشعه رااشعهٔ کاتدی‌می‌نامند.

هرگاه مطابق شکل زیر صفحه‌ای پوشیده از سولفید روی[1] در مسیر این اشعه قرار گیرد، جرقه‌هایی روی صفحه دیده می‌شود که نشان دهندهٔ گلوله‌باران شدن آن به‌وسیلهٔ ذره‌هایی است که از کاتد خارج می‌شوند و در امتداد مستقیم سیر می‌کنند.



برقرار کردن میدان الکتریکی به‌کمک قطبهای منفی و مثبت باعث انحراف این اشعه به سمت قطب مثبت می‌شود (شکل زیر) و این خود نشانه‌ای از وجود بار منفی در ذره‌های تشکیل دهندهٔ اشعهٔ کاتدی است.این ذره‌های‌دارای بار منفی همان الکترونها می‌باشند. چون تکرار آزمایش با گازهای گوناگون و کاتدهایی از عناصر مختلف ما را به‌همین نتیجه می‌رساند، نتیجه می‌گیریم که الکترون یکی از سازنده‌های اصلی کلیهٔ اتمهاست.



خاصیت رادیواکتیوی۔ هانری‌بکرل (Henri Becquerel) دانشمندفرانسوی (در سال ۱۸۹۶) ضمن آزمایشهایی‌که روی ترکیبات اورانیم انجام می‌دادبه پدیدهٔ جالبی برخورد کرد. اویک تکه سنگ معدن اورانیم راروی کاغذ سیاه رنگی که درآن یک صفحهٔ حساس عکاسی

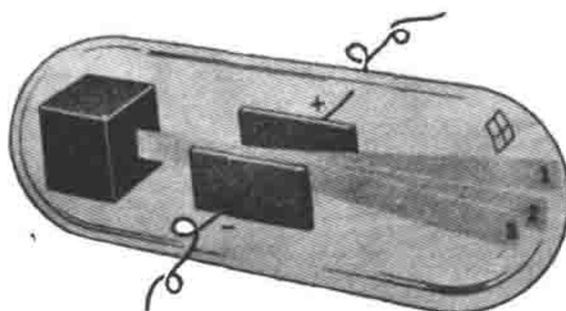
۱ـ بعضی از مواد از جمله ZnS بر اثر تابش اشعه نامرئی ، نور مرئی تولید می‌کنند . این پدیده را فلوئورسانس و این گونه مواد را فلوئورسان می‌نامند . فلوئورسانس سولفید روی سبز پسته‌ای است .

قرارداشت، درکشومیزخود گذاشته بود. چندروز بعد پس ازاستفاده ازصفحهٔ حساس عکاسی و ظاهرکردن آن به وجودلکه‌های سیاهی درمحل قرارگرفتن سنگ معدن پی برد. چون این صفحه درمعرض نورطبیعی قرارنگرفته بود اونتیجه گرفت که سنگ معدن اورانیم نوعی اشعهٔ نامرئی از خودخارج می‌سازد واین اشعه مانند نورمرئی برصفحهٔ حساس‌عکاسی اثرمی‌گذارد. ازاین رو چنین ماده‌ای نظیر سنگ معدن اورانیم رادیواکتیو (Radioactive) واشعهٔ نامرئی آن رادیواکتیوی (Radioactivity) نام گرفت. آزمایشهاوتحقیقات بعدی به ویژه کارهای مادام کوری وشوهرش‌پیرکوری به کشف چند عنصر رادیواکتیو ازجمله رادیم منجر شد.

رادرفورد (Ernest Rutherford) دانشمندانگلیسی (۱۹۳۷ – ۱۸۷۱)ضمن‌انجام دادن آزمایشهای زیاد تلاش کرد که به راز اشعهٔ رادیواکتیو وساختمان اتم پی ببرد.

در اینجا به شرح دو آزمایش معروف او و شاگردانش می‌پردازیم.

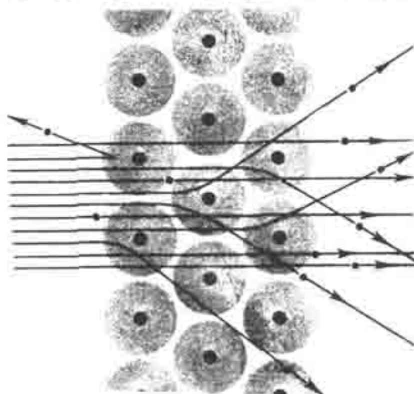
آزمایش اول رادرفورد در بارهٔ خواص اشعهٔ رادیواکتیو ـ رادرفورد برای بررسی جنس اشعهٔ رادیواکتیو طبیعی حاصل از فلز رادیم دستگاهی مطابق شکل ساخت. او اندکی رادیم را



در محفظهٔ سربی قرار داد. شکاف کوچکی که در کنار جعبه قرار داشت امکان می‌داد که پرتو باریکی از اشعهٔ رادیواکتیو فقط در یک جهت معین تشعشع کند. این اشعه از میان دو صفحهٔ فلزی که به دو قطب الکتریکی متصل شده‌اند عبور می‌کند. در این مورد نیز برای آشکار کردن اشعه از سولفید روی (ZnS) استفاده می‌شود. سولفید روی در اثر تابش اشعهٔ رادیواکتیو نور سبز رنگی می‌دهد. اگر صفحه‌های فلزی به جریان الکتریسیته متصل نباشند لکهٔ سبز رنگ فقط در نقطهٔ ۲ دیده می‌شود ولی اگر آنها را به جریان الکتریسیته وصل کنیم سه لکهٔ سبز رنگ در نقاط ۱ و ۲ و ۳ مشاهده خواهد شد. برای تفسیر این پدیده باید چنین فرض کرد که اشعهٔ رادیواکتیو طبیعی از سه جزء تشکیل شده است. جزء اول که به سمت قطب منفی منحرف شده است دارای بار الکتریکی مثبت است و اشعهٔ آلفا (α) نامیده می‌شود. جزء دوم که به سمت قطب مثبت منحرف شده است و دارای بار الکتریکی منفی می‌باشد، اشعهٔ بتا (β) نام دارد. جزء سوم را نیز که در میدان الکتریکی منحرف نشده است و دارای بار الکتریکی نیست

اشعهٔ گاما (γ) می‌نامند. تحقیقاتی که بعداً انجام گرفت نشان داد که اشعهٔ آلفا از جنس هلیم با دو بار مثبت (یون‌هلیم He^{2+}) و اشعهٔ بتا ذراتی با بار الکتریکی منفی است‌که از جنس الکترون می‌باشد[1]. اشعهٔ گاما نیز که مانند نور مرئی خواص الکتریکی ندارد از جنس اشعهٔ X می‌باشد.

آزمایش دوم رادرفورد برای تعیین موقعیت[2] بارهای مثبت و منفی در اتم (مدل اتمی

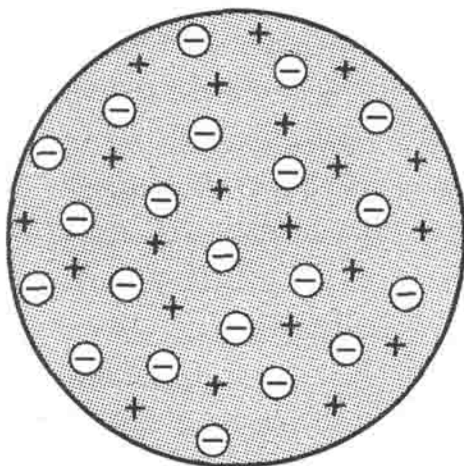


۱ـ تحقیقات دامنه‌دار رادرفورد دربارهٔ اشعهٔ رادیواکتیو و خاصیت رادیواکتیوی باعث شد که جایزهٔ نوبل سال ۱۹۰۸ را در رشتهٔ شیمی دریافت کند.

۲ـ پس از آن که با کشف اشعهٔ کاتدی و شواهد دیگر ثابت شد که الکترون جزئی از ماده است، دیگر اتم دالتون به‌عنوان یک ذرهٔ غیر قابل تقسیم نمی‌توانست مورد قبول واقع شود. در این موقع تامسون مدلی برای اتم پیشنهاد کرد.

وی گفت "تصور می‌کنیم که اتم تشکیل‌شده است از الکترونهایی که مرتباً در کره‌ای از بار الکتریکی مثبت یکنواخت درحال گردش هستند .... الکترونها در این‌کره‌های اتمی دارای نوعی آرایش بوده که باعث تغییرات تدریجی و تناوبی خواص عناصر در طول یک دوره می‌گردند."

تامسون مدل اتمی خود را به یک "کیک کشمشی" تشبیه کرد. هرچند مدل اتمی تامسون از نظر این که موقعیت بارهای مثبت را کاملاً توجیه نمی‌کرد نارساییهایی داشت، ولی از نظر این که ارتباطی میان الکترونها و ساختمان اتمی از یک طرف و ارتباط میان الکترونها و خواص تناوبی را از طرف دیگر پیشنهاد می‌کرد، حائز اهمیت بود.



مدل اتمی تامسون



لُردارنست رادرفورد و شاگردانش هنگام کار و تحقیق در آزمایشگاه کاوندیش دانشگاه کمبریج لندن

رادرفورد) ــ رادرفورد برای تحقیق در بارهٔ ساختمان اتم ، از بمباران کردن مواد به وسیلهٔ اشعهٔ آلفا استفاده کرد . او درصدد برآمد که اثر ذرهٔ آلفا را که بار مثبت دارد روی یک ماده ، همچنین اثر آن ماده را روی اشعهٔ آلفا مورد بررسی قرار دهد . شکل متن صفحهٔ قبل تصویری از این آزمایش را از نظر می‌گذراند .

در سال ۱۹۱۱ رادرفورد و شاگردان او به این موضوع پی بردند که وقتی پرتو باریکی از ذره‌های آلفا از یک منبع رادیواکتیو بر روی ورقهٔ بسیار نازکی از طلا تابیده شود [1] ، اکثر ذرات آلفا بدون منحرف شدن ، در مسیر اصلی خود از درون ورقهٔ طلا عبور می‌کنند (برای مشخص شدن مسیر این ذرات از صفحهٔ فلوئورسان استفاده می‌شود)

از میان تعداد بسیار زیادی ذره‌های آلفا، تعداد معدودی منحرف می‌شوند و تعداد بسیار

۱ــ ضخامت ورقه طلای مورد آزمایش ممکن است در حدود ۲۰۰۰ اتم باشد .

کمتری نیز به‌عقب برمی‌گردند، برای رادرفورد جای تعجب بود که چگونه ذرات نسبتا" سنگین آلفا باسرعت زیادی که‌دارند دچارانحراف شده یاپس از برخورد به‌ورقهٔ طلا دوباره‌برمی‌گردند. رادرفورد برای توجیه این مشاهدات چنین فرض کردکه قسمت اعظم درون اتم را فضای خالی تشکیل می‌دهدبه طوری که اکثر ذرات آلفا بدون منحرف شدن ازدرون ورقه می‌گذرند. هر اتم نیز هستهٔ بسیار کوچکی داردکه محل تمرکز بارهای مثبت وتقریبا" تمامی جرم اتم است، به طوری که وقتی‌عده‌ای ازذرات آلفا از نزدیکی هسته عبورمی‌کنند تحت تأثیر نیروی دافعهٔ آن قرارمی‌گیرندو ازمسیر اصلی خود منحرف می‌شوند. ذراتی هم که درست درامتدادهسته پیش می‌روندبه سمت عقب رانده می‌شوند. بامحاسبهٔ نسبت‌ناچیز ذرات آلفایی که به عقب رانده می‌شوندبه کل ذرات تابیده شده وبا استفاده ازداده‌های دیگر، رادرفورد و شاگردان او به این نتیجه رسیدند که قطر اتمها درحدود 10^{-8} سانتیمتر و قطر هسته‌ها در حدود 10^{-12}سانتیمتر می‌باشد. به عبارت دیگر قطر اتم درحدود ۱۰۰،۰۰۰ مرتبه بزرگتر ازقطر هسته‌است.

پرسش: با توجه‌به این اعداد، چه نسبتی میان حجم اتم‌و حجم هستهٔ آن وجود دارد؟

الکترونهاکه‌بارمنفی دارند، اطراف هسته را فراگرفته‌اند وبا آن که بیشتر حجم اتم فضای خالی‌است،الکترونها به علت سرعت حرکت فوق العاده‌ای که‌دارند، تمامی فضای خالی اطراف هسته‌رااشغال می‌کنند. برای تجسم این مطلب، می‌توان‌وضع الکترونهارا باوضعی که‌ملخ‌هواپیمادر موقع چرخیدن داردتشبیه‌کرد. بیشتر فضایی را که ملخ هواپیما به هنگام چرخیدن دربر می‌گیرد فضای خالی‌است چون به‌هرحال ملخ هواپیما در هرلحظه جزئی از فضارا اشغال می‌کند ولی با گردش سریع‌خود عملا" تمامی‌این‌فضارا پر می‌کند به‌طوری که‌کسی‌جرأت نمی‌کندانگشت‌خودرادراین‌فضای‌خالی‌فروبرد.



چون اتم از لحاظ بار الکتریکی خنثی است بنابراین در مقابل الکترونهای منفی دراطراف هسته ذراتی با بار مثبت در هسته وجود دارند که آنها را پروتون گویند.

۳- عدد اتمی

مُزلی (Mozeley) دانشمند انگلیسی (درسال ۱۹۱۴) به دنبال یک سلسله آزمایش با عناصر گوناگون برای تولید اشعهٔ ایکس(X) متوجه شد که طول موج اشعهٔ تولیدشده به وسیلهٔ یک‌عنصربا بار الکتریکی هسته‌اتمهای آن‌عنصر مربوط است[1] وی بااستفاده ازاین خاصیت توانست‌عدهٔ بارهای مثبت را درهستهٔ اتمهای گوناگون معین کند. عدهٔ بارهای مثبت‌که همان

---

۱ ــ هر چه بار مثبت هسته بیشتر باشد طول موج اشعه تولید شده کمتر است .

تعداد پروتونها باشد "عدداتمی " نامیده می‌شود.

هرعنصردارای یک عدداتمی مخصوص به خودمی باشدکه باموقعیت آن درجدول تناوبی مطابقت دارد. مثلاً اکسیژن که در هشتمین خانهٔ جدول تناوبی قرارگرفته است، دارای ۸ پروتون در هستهٔ خودمی‌باشد. چون هر اتم ازنظر الکتریکی خنثی است وازطرف دیگرمقدار بارالکتریکی یک الکترون با بارالکتریکی پروتون مساوی است، پس باید تعدادالکترونها وپروتونهای یک عنصربا هم برابر باشد. درمورد اکسیژن باید ۸ الکترون دراطراف هسته وجودداشته باشد.

۴ـ کشف نوترونها

دیدیم که اتم اکسیژن دارای ۸ پروتون درهستهٔ خودمی‌باشدولی جرم اتمی آن ۱۶ است. ازآنجاکه الکترونها جرم بسیار کمی دارند، این اختلاف جرم نمی‌تواند به علت وجودالکترونها باشد. همچنین درمورد ذرهٔ آلفا دیدیم که دارای دوبار مثبت است (۲پروتون) ولی جرم آن ۴ است. دانشمندان برای حل این مشکل وجودیک ذرهٔ خنثی را درهسته پیشنهادکردند. کشف و تحقیق دربارهٔ این ذره به علت آن که برخلاف پروتون والکترون، بار الکتریکی‌ندارد، مشکل بود. چادویک (Chadwick) دانشمندانگلیسی (درسال ۱۹۳۲) توانست که به وجوداین ذرات پی ببرد. این ذرات به علت خنثی بودن "نوترون" نام‌گرفتند (از Neutral یاخنثی).

هـ عدد جرمی

مجموع تعداد پروتونهاونوترونهای هستهٔ یک اتم را عدد جرمی آن می‌نامند. اگر تعداد نوترونهارابه N وتعدادپروتونها (عدداتمی) رابه Z وعددجرمی‌را به A نمایش‌دهیم رابطهٔ $N = A - Z$ بین آنها برقراراست.

برای مثال درمورداکسیژن که عدداتمی ۸ دارد وتعداد نوترونهای آن نیز ۸ می‌باشد، عدد جرمی ۱۶ به دست می‌آید. ($A = Z + N$ یا $A = ۸+۸$).

جدول زیر مشخصات ذرات بنیادی اتم رانشان می‌دهد.

ذره	علامت	جرم		بار	
		واحد جرم اتمی*	گرم	کولن	نسبی
الکترون	e^-	۰/۰۰۰۵۴۸۶	$۹/۱۱ \times ۱۰^{-۲۸}$	$۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$	۱ −
پروتون	p^+	۱/۰۰۷۲۸	$۱/۶۷۳ \times ۱۰^{-۲۴}$	$+۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$	۱ +
نوترون	n	۱/۰۰۸۶۷	$۱/۶۷۵ \times ۱۰^{-۲۴}$	۰	۰

* واحدجرم‌اتمی یا Atomic Mass Unit برابر $۱/۶۶۰۳ \times ۱۰^{-۲۴}$ گرم است که‌معادل یک واحد کربنی است (سال گذشته بامفهوم واحدکربنی آشناشدید).

۶ـ کشف ایزوتوپها

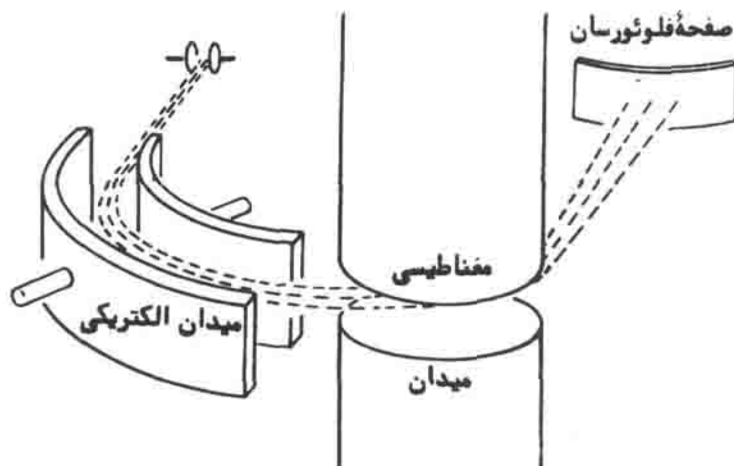
درابتدای‌این‌بخش این مسئله‌عنوان شد که چرا جرم اتمی اغلب عناصر عددکسری‌است. درسال ۱۹۱۳ نیز دانشمندان متوجه وجوددوجرم اتمی متفاوت برای فلز سرب شدندکه ازدو منبع مختلف به دست آمده بود. چنین برخوردهایی میان واقعیتهای عینی وتئوری دالتون که اتمهای یک عنصر رایکسان می‌دانست ، مسئلهٔ بغرنجی را پیش کشیده بود.

وقتی یک‌اتم‌خنثی الکترون ازدست‌بدهد یا کسب کند به‌صورت یک ذرهٔ باردار درمی‌آید که آن را یون می‌نامند . راههای متعددی برای تشکیل این یونها وجود دارد که یکی ازآنها گلوله‌باران کردن اتمهای یک گاز با الکترونهای پر انرژی است .

وقتی‌گازنئون‌راباالکترونهای‌پرانرژی‌اشعهٔ‌کاتدی گلوله باران‌کنیم، اتمهای نئون الکترون ازدست می‌دهندواکثراً به صورت یونهای نئون (Ne^{+}) درمی‌آیند. جرم این یون را می‌توان عملاً برابرجرم اصلی اتم نئون گرفت، زیرا می‌دانیم که جرم الکترون بسیارکم وقابل صرف‌نظر کردن‌است. بااین ترتیب هرگاه بتوان جرمهای نسبی یونهارا اندازه گرفت، می‌توان به جرمهای نسبی اتمهای آنها پی‌برد.

آزمایش نشان می‌دهدکه هرگاه یونهای‌پرسرعت نئون(Ne^{+}) رادردستگاه مناسبی ازیک میدان مغناطیسی قوی عبوردهند، وآنها رابه‌صفحهٔ‌فلوئورسانی هدایت کنند،درخشندگی در سه نقطهٔ متفاوت ازاین صفحه آشکار می‌گردد. چون کلیهٔ یونهایی که نسبت باربه جرم آنها یکسان است باید دریکجامتمرکز شوند، پیدایش سه نقطهٔ روشن دلیل بروجودسه نوع یون Ne^{+} است که بارالکتریکی یکسان دارندولی جرم‌آنها اندکی بایکدیگر تفاوت دارد.

با اطلاعاتی که قبلاً راجع به انحراف ذرهٔ باردار در میدان مغناطیسی کسب کردید، می‌توانید چنین قضاوت کنید که آن دسته از یونهای Ne^{+}که دچار انحراف کمتری شده‌اند ، دارای‌جرم بیشتری می‌باشند. شکل زیر تصویر ساده‌ای از انحراف یونهای Ne^{+} را در میدان



مغناطیسی نشان می‌دهد. با مقایسهٔ شدت روشنایی سه نقطهٔ نامبرده می‌توان به عدهٔ نسبی یونهای گوناگون (Ne^+) پی برد. این آزمایش آشکارا نشان می‌دهد که نئون معمولی از سه نوع اتم که جرمهای متفاوت دارند تشکیل شده و نسبت این سه نوع اتم به یکدیگر نیز قابل اندازه گیری است.

چون عدهٔ پروتونها و الکترونها در هر سه نوع اتم نئون یکسان است (۱۰ پرتون و ۱۰ الکترون)، بنابراین بایدتفاوت آنها را در تعداد نوترونها جستجو کرد. این سه نوع اتم نئون را "ایزوتوپهای" نئون گویند.

تعریف ایزوتوپی ــ اتمهای یک عنصر راکه عدد اتمی یکسان و جرم متفاوت دارند، ایزوتوپهای آن عنصر می‌نامند.

پرسش ــ کدام یک از یونهای زیر انحراف بیشتری درمیدان آهن ربایی پیدا می‌کنند؟ چرا؟

الف ــ یون K^+ یا K^{2+}

ب ــ ایزوتوپ سبک Ca^{2+} یا ایزوتوپ سنگین Ca^{2+}

مشخصات سه نوع ایزوتوپ نئون به شرح زیراست:

علامت شیمیایی ایزوتوپ و مشخصات آن	عدد جرمی A	عدد اتمی Z	تعداد نوترونها N
$^{20}_{10}Ne$	۲۰	۱۰	۱۰
$^{21}_{10}Ne$	۲۱	۱۰	۱۱
$^{22}_{10}Ne$	۲۲	۱۰	۱۲

همان طوری‌که درجدول تناوبی ملاحظه شد، جرم اتمی عناصرگوناگون عددصحیح‌نیست، زیراعناصری که در طبیعت یافت می‌شوندمخلوطی از چندایزوتوپ هستند. برای تعیین جرم اتمی یک عنصرباید میانگین عددهای جرمی کلیهٔ ایزوتوپهای آن عنصر راباتوجه به فراوانی نسبی آنها در طبیعت حساب کرد. برای مثال، جرم اتمی نئون که دارای ایزوتوپهای ۲۰، ۲۱و ۲۲ است وفراوانی نسبی آنها درگاز نئون طبیعی به ترتیب ۹۰/۹۲، ۰/۲۶ و ۸/۸۲ درصد

می‌باشد، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{جرم اتمی نئون} \quad ۲۰/۱۸ = \frac{۹۰/۹۲}{۱۰۰} \times ۲۰ + \frac{۰/۲۶}{۱۰۰} \times ۲۱ + \frac{۸/۸۲}{۱۰۰} \times ۲۲$$

پرسش ــ هلیم درطبیعت به صورت دوایزوتوپ $^{4}_{2}He$ و $^{3}_{2}He$ وجوددارد. عدداتمی، عدد جرمی، تعدادپروتونها، تعدادنوترونهاوتعدادالکترونهای هریک ازاین دوایزوتوپ‌رامشخص‌کنید .

درپایان یادآورمی‌شویم که تحقیقات تجربی نشان می‌دهدکه خواص شیمیایی ایزوتوپهای‌یک عنصر یکسان است. پس نتیجه می‌گیریم که تفاوت درتعدادنوترونها روی خواص شیمیایی اثر نمی‌گذاردو فقط عدهٔ الکترونها وبارهسته است که درتعیین این خواص ازعوامل موٴثر ومهم به شمارمی‌آیند.

ایزوتوپهای ئیدروژن‌طبیعی ــ تحقیق تجربی نشان‌می‌دهدکه تقریبا" ازهر ۶۲۵۰ اتم ئیدروژن طبیعی فقط یک اتم به صورت ایزوتوپ سنگین وجوددارد. این اتم باوجود این که از لحاظ شیمیایی اتم ئیدروژن به شمارمی‌رود، نام دوتریم (Deuterium) به خودگرفت و علامت شیمیایی آن D می‌باشد.

دریک نمونهٔ آب طبیعی، مولکولهایی وجوددارندکه شامل یک اتم D می‌باشند. تقریبا" از هر ۶۰۰۰ مولکول آب، فقط یک مولکول به‌فرمول DHO وجوددارد. مولکولهایی که دارای دو اتم D هستند بسیار کم بوده و از هر $۳/۶ \times ۱۰^{۷}$ مولکول آب ، یک مولکول به صورت D_2O می‌باشد.

تلاش فراوان دانشمندان برای جداکردن مقدارکم D_2O موجود درآب طبیعی که به روش تقطیر ویژه‌ای انجام می‌گیرد، درسال ۱۹۳۲ به نتیجه رسید. D_2O راکه جرم مولکولی ۲۰ دارد، اصطلاحا" آب‌سنگین می‌نامند. خواص فیزیکی این آب به‌ویژه نقطهٔ انجماد، نقطهٔ جوش وجرم حجمی آن، اندکی با آب معمولی تفاوت‌دارد[1].

۱ــ جدول زیر تفاوت برخی خواص فیزیکی آب معمولی و آب سنگین را نشان می‌دهد :

	آب معمولی H_2O (دارای ۰/۰۱۶٪D)	آب سنگین D_2O
جرم حجمی (گرم بر سانتیمتر مکعب) در $۲۰^{\circ}C$	۰/۹۹۸۲	۱/۱۰۵۰
نقطهٔ انجماد $^{\circ}C$	۰/۰۰	۳/۸۲
نقطهٔ جوش $^{\circ}C$	۱۰۰/۰۰	۱۰۱/۴۲

۷- آرایش الکترونها در اتم

قبلاً بامفهوم یونیزاسیون اتمها و تولید یونهای مثبت آشنا شدیم. مثلاً اتم ئیدروژن با ازدست دادن یک الکترون به صورت یون ئیدروژن (H^+) درمی‌آیدویا گاز هلیم باازدست دادن دوالکترون به یون He^{2+} تبدیل می‌شود. برای هریک ازاین تبدیلها مقدارمعینی انرژی لازم است. این مقدارانرژی را انرژی یونیزاسیون گویند.

دراین مبحث ازانرژی یونیزاسیون به عنوان‌وسیله‌ای برای پی بردن به آرایش الکترونها دراطراف هستهٔ اتم استفاده خواهیم‌کرد[1].

تعریف انرژی یونیزاسیون ــ انرژی یونیزاسیون عبارت است از مقدار انرژی لازم برای جداکردن یک‌الکترون ازاتمهای‌گازی‌عنصر و تشکیل یون مثبت . معمولاً مقدار انرژی یونیزاسیون را برحسب کیلوکالری برای یک‌مول‌الکترون[2] بیان میکنند . این مقدارانرژی را انرژی یونیزاسیون یا نخستین انرژی یونیزاسیون می‌نامند . درصورتی که اتم چند الکترون داشته باشد ، می‌توان با صرف‌انرژی بیشتر ،دومین ،سومین ،چهارمین ، . . .الکترون‌راهم ازیونهای گازی‌حاصل جدا کرد .

پرسش ــ می‌دانید که بار مثبت اتم با از دست دادن تدریجی الکترونها افزایش می‌یابد . حال بگویید چرا دومین انرژی یونیزاسیون اتمها بیش از اولین انرژی یونیزاسیون است ؟

با روشهای پیشرفتهٔ امروزی موفق شده‌اند انرژی یونیزاسیون بیستم را نیز به‌طریق تجربی اندازه بگیرند . در صفحهٔ بعد انرژیهای یونیزاسیون متوالی بیست عنصر اول جدولی تناوبی داده شده است . اندازه‌گیری کلیه انرژی‌های یونیزاسیون بطریق تجربی امکان‌پذیر نیست ولی میتوان آنها را از طریق محاسبه پیدا کرد .

فعالیتهایی برای استفاده‌ازجدول‌انرژی‌یونیزاسیون‌وپی‌بردن به اهمیت‌آن

فعالیت ۱ : بااستفاده ازستون E_1 جدول انرژی یونیزاسیون، تحقیق کنیدکه آیانخستین

۱ــ چون اندازه‌گیری انرژی یونیزاسیون عناصر یک بحث فیزیکی است، از این رو دراین کتاب گنجانده نشده است.

۲ــ یک مول الکترون برابر $۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ الکترون است.

برای تبدیل مجدد یک گرم یون ئیدروژن (H^+) به یک گرم گاز ئیدروژن (یک اتم گرم ئیدروژن)، نیزیک‌مول‌الکترون موردنیاز است. قبلاً دیدیم‌که برای آزاد شدن یک گرم ئیدروژن در عمل‌الکترولیز ۹۶۴۸۷ کولن الکتریسیته‌لازم است، بنابراین یک مول الکترون جمعاً معادل ۹۶۴۸۷ کولن الکتریسیته است.

چون بارالکتریکی یک‌الکترون‌مساوی $۱/۶۰۲۱ \times ۱۰^{-۱۹}$ کولن است، پس می‌توان تعداد الکترونها را در یک مول حساب کرد.

$$\frac{۹۶۴۸۷}{۱/۶۰۲۱ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$$

این عدد همان عدد آووگادرو است که سال گذشته با آن آشنا شدید.

جدول انرژیهای یونیزاسیون متوالی بیست عنصر اول جدول تناوبی

(کیلو کالری بر مول K Cal / mole)

عدد اتمی	علامت شیمیایی	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_9	E_{10}	E_{11}	E_{12}	E_{13}	E_{14}	E_{15}	E_{16}	E_{17}	E_{18}	E_{19}	E_{20}	آرایش الکترونی عنصر
۱	H	۳۱۴																				$1S^1$
۲	He	۵۶۷	۱۲۵۴																			$1S^2$
۳	Li	۱۲۵	۱۷۴۳	۲۸۲۲																		$1S^22S^1$
۴	Be	۲۱۴	۴۲۰	۳۵۵۰	۵۰۲۰																	$1S^22S^2$
۵	B	۱۹۱	۵۷۹	۸۷۴	۵۹۸۲	۷۸۴۵																$1S^22S^22P^1$
۶	C	۲۶۱	۵۶۳	۱۱۰۵	۱۴۷۸	۹۰۴۲	۱۱۲۹۷															$1S^22S^22P^2$
۷	N	۳۳۴	۶۸۳	۱۰۹۳	۱۷۸۷	۲۲۵۵	۱۲۷۲۹	۱۵۳۸۱														$1S^22S^22P^3$
۸	O	۳۱۴	۸۰۹	۱۲۶۶	۱۷۸۵	۲۶۲۷	۳۱۸۵	۱۷۰۴۸	۲۰۰۹۴													$1S^22S^22P^4$
۹	F	۴۰۱	۸۰۵	۱۴۴۶	۲۰۰۹	۲۶۳۳	۳۶۲۳	۴۲۷۱	۲۱۹۹۷	۲۵۴۳۷												$1S^22S^22P^5$
۱۰	Ne	۴۹۸	۹۴۳	۱۴۶۲	۲۲۳۹	۲۹۱۰	۳۶۴۱	۴۷۸۰	۵۵۱۴	۲۷۵۷۵	۳۱۴۱۰											$1S^22S^22P^6$
۱۱	Na	۱۱۸	۱۰۹۱	۱۶۵۱	۲۲۸۱	۳۱۹۲	۳۹۶۹	۴۸۰۸	۶۰۹۲	۶۹۱۳	۳۳۷۸۵	۳۸۰۱۷										$1S^22S^22P^63S^1$
۱۲	Mg	۱۷۵	۳۴۶	۱۸۴۷	۲۵۱۸	۳۲۵۶	۴۳۰۱	۵۱۸۶	۶۱۳۲	۷۵۶۱	۸۴۷۵	۴۰۶۱۰	۴۵۲۵۸									$1S^22S^22P^63S^2$
۱۳	Al	۱۳۶	۴۳۴	۶۵۵	۲۷۶۵	۳۵۴۴	۴۳۹۱	۵۵۶۷	۶۵۵۸	۷۶۱۴	۹۱۷۸	۱۰۱۹۳	۴۸۱۰۱	۵۳۱۳۰								$1S^22S^22P^63S^23P^1$
۱۴	Si	۱۸۷	۳۷۶	۷۷۳	۱۰۴۰	۳۸۴۴	۴۷۲۷	۵۶۷۳	۶۹۶۴	۸۰۹۴	۹۴۴۷	۱۰۹۷۷	۱۲۰۷۲	۵۶۱۹۷	۶۱۶۳۹							$1S^22S^22P^63S^23P^2$
۱۵	P	۲۴۰	۴۵۴	۶۹۶	۱۱۸۵	۱۴۹۹	۵۰۷۳	۶۰۶۵	۷۱۲۶	۸۵۵۵	۹۷۷۷	۱۱۰۴۶	۱۲۹۵۶	۱۴۱۰۸	۶۴۹۵۸	۷۰۷۸۷						$1S^22S^22P^63S^23P^3$
۱۶	S	۲۳۸	۵۳۷	۸۰۲	۱۰۹۱	۱۶۷۶	۲۰۲۹	۶۴۵۷	۷۵۶۴	۸۷۴۰	۱۰۳۰۸	۱۱۶۴۲	۱۳۰۲۰	۱۵۰۲۶	۱۶۳۰۶	۷۴۳۴۱	۸۰۵۷۲					$1S^22S^22P^63S^23P^4$
۱۷	Cl	۲۹۷	۵۴۹	۹۱۳	۱۲۳۱	۱۵۰۳	۲۲۳۷	۲۶۲۹	۸۰۲۵	۹۲۲۴	۱۰۴۹۲	۱۲۱۹۹	۱۳۶۲۸	۱۵۱۲۷	۱۷۲۷۲	۱۸۶۵۶	۸۴۳۵۳	۹۰۹۹۴				$1S^22S^22P^63S^23P^5$
۱۸	Ar	۳۶۲	۶۳۶	۹۳۹	۱۳۷۹	۱۷۳۰	۲۰۹۸	۲۸۵۹	۳۲۹۸	۹۷۳۱	۱۱۰۲۳	۱۲۴۰۶	۱۴۲۵۱	۱۵۸۱۹	۱۷۴۱۰	۱۹۶۹۳	۲۱۱۶۹	۹۵۰۰۷	۱۰۲۰۶۴			$1S^22S^22P^63S^23P^6$
۱۹	K	۹۹	۷۲۹	۱۰۵۴	۱۴۰۴	۱۹۰۵	۲۳۰۶	۲۶۹۸	۳۵۵۱	۴۰۳۶	۱۱۵۹۹	۱۳۰۰۶	۱۴۵۰۵	۱۶۴۶۵	۱۸۱۴۸	۱۹۸۵۵	۲۲۳۲۲	۲۳۸۴۴	۱۰۶۳۰۷	۱۱۳۷۵۵		$1S^22S^22P^63S^23P^64S^1$
۲۰	Ca	۱۴۱	۲۷۲	۱۱۱۴	۱۵۴۷	۱۹۴۶	۲۴۹۰	۲۹۲۹	۳۳۹۰	۴۳۳۵	۴۸۶۶	۱۳۶۲۸	۱۵۱۲۷	۱۶۷۴۲	۱۸۸۱۷	۲۰۶۳۹	۲۲۴۶۰	۲۵۰۶۶	۲۶۶۸۰	۱۱۸۲۷۵	۱۲۶۱۱۵	$1S^22S^22P^63S^23P^64S^2$

انرژی یونیزاسیون عناصر دورهٔ دوم جدول تناوبی (از $_{3}Li$ تا $_{10}Ne$) افزایش منظم دارد؟

فعالیت ۲: بیشترین انرژیهای یونیزاسیون درستون E_1 مربوط به چه عناصری است؟ کمترین انرژیهای یونیزاسیون مربوط به چه عناصری است؟ آیاوابستگی خاصی میان فعالیت شیمیایی عناصر ومقدار انرژی یونیزاسیون آنهاوجود دارد؟

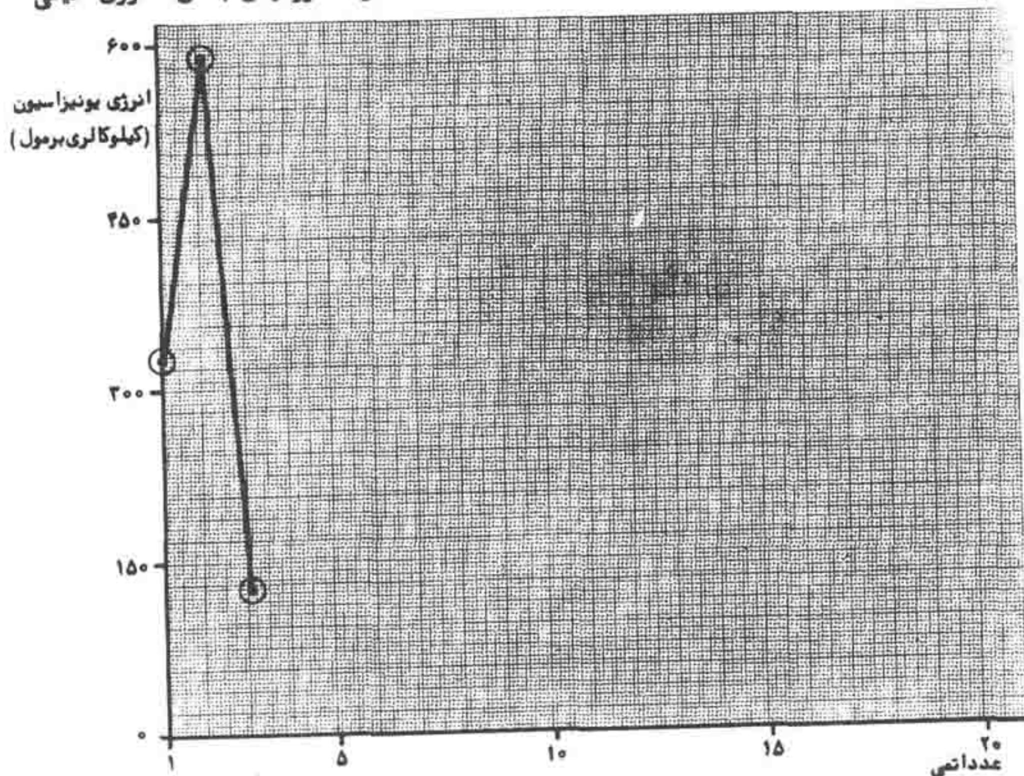
باتوجه‌به نخستین انرژی یونیزاسیون عناصر، آیاتفاوت مهمی میان‌فلزها وغیرفلزهاوجود دارد؟ کدام یک آمادگی بیشتری برای ازدست دادن الکترون وتبدیل به یون مثبت دارد؟

آیا اطلاعات تجربی شما که در فصل قبلی به دست آمد مؤید این نتیجه‌گیری‌است؟

فعالیت ۳: بااستفاده‌ازداده‌های‌جدول‌یونیزاسیون، رسم نمودارنخستین انرژی یونیزاسیون ۲۰ عنصر اول جدول تناوبی (از $_{1}H$ تا $_{20}Ca$) راکه در شکل زیرآغاز گردیده تکمیل کنید. آیا نمودار حاصل صحت پاسخ شمارا درفعالیت ۲تایید می‌کند؟

تحقیق دربارهٔ گروههای الکترونی‌اتم بااستفاده‌ازجدول انرژی یونیزاسیون ـ بااستفاده ازارقام‌جدول انرژی یونیزاسیون، انرژیهای یونیزاسیون متوالی سدیم راکه از E_1 تا E_{11} به ترتیب برای جداکردن الکترونهای یازده‌گانهٔ آن لازم است، روی نمودارآورده‌ایم.

همان‌طوری‌که‌دیده‌می‌شود، می‌توان این الکترونها را از لحاظ انرژی به سه گروه تقسیم‌کرد. گروه اول شامل اولین الکترون است‌که در مقایسه با سایر الکترونهای بعدی، انرژی خیلی



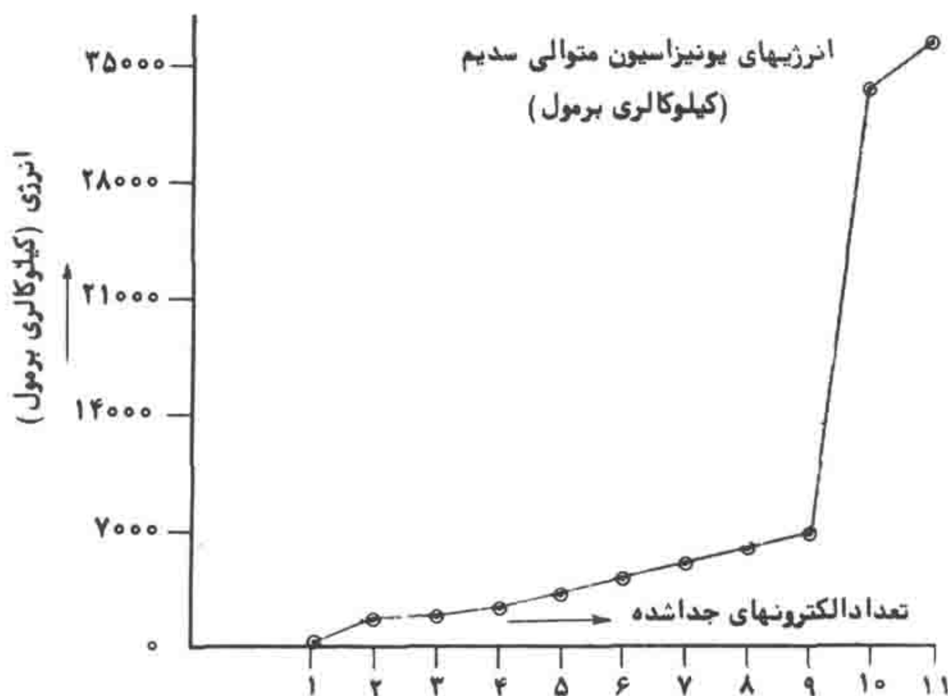
کمتری برای جدا کردن آن لازم است. (نخستین انرژی یونیزاسیون در سدیم ۱۱۷/۶ کیلوکالری برمول است.

بنابراین اولین الکترونی که از سدیم جدا می‌شود وضع کاملاً" متمایزی دارد.

گروه دوم شامل ۸ الکترون است (از الکترون دوم تا الکترون نهم) که انرژی لازم برای جدا کردن متوالی آنها از حدود ۱۰۹۰ کیلو کالری برمول (دومین انرژی یونیزاسیون‌سدیم) تا حدود ۶۹۱۳ کیلو کالری برمول (نهمین انرژی یونیزاسیون سدیم) افزایش می‌یابد.

گروه سوم شامل ۲ الکترون است که‌انرژی فوق العاده زیادی برای جداکردن آنها لازم می‌باشد. باتوجه به این نکته که هرچه الکترون به هسته نزدیکتر باشد، تحت تأثیر نیروی جاذبهٔ بیشتری قرارگرفته‌وانرژی زیادتری برای جداکردن آن لازم می‌باشد، می‌توان تصویری ازموقعیت گروههای سه گانه رانسبت به هستهٔ سدیم درذهن خودمجسم کرد.

گروه دوالکترونی آخری که جداکردن آنها خیلی مشکل‌تر از گروههای دیگر است، به هستهٔ اتم نزدیکترهستند و به اصطلاح‌پایین‌ترین سطح انرژی را اشغال می‌کنند[1].

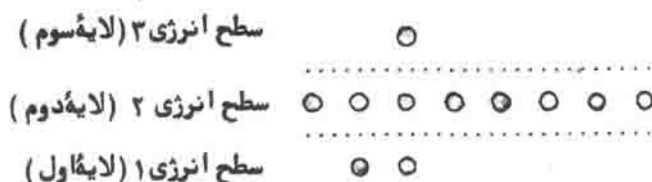


۱ــ به طوری‌که ملاحظه کردید، جداکردن الکترون ازاتم مستلزم صرف انرژی می باشد. مثلاً" باید در حدود ۳۱۳/۶کیلو کالری‌برمول‌انرژی‌به کاربریم تا با جداکردن‌یک‌مول‌الکترون، یک اتم‌گرم‌ئیدروژن را به یونهای H^+ تبدیل کنیم. هرچه الکترون به هسته نزدیکتر باشد وضع پایدارتری دارد و دور کردن آن مستلزم صرف انرژی بیشتر است.

این‌سطح انرژی را سطح انرژی اول‌یا سطح‌انرژی (K) می‌نامندوآن‌را با n = ۱ مشخص می‌کنند. هشت‌الکترون‌بعدی که درفواصل دورتری نسبت به هستهٔ اتم سدیم قرارگرفته‌اند، سطح انرژی دوم راتشکیل می‌دهند که باعلامت L یا n = ۲ مشخص می‌شود.

دورترین الکترون که نسبت به سایر الکترونها دراین اتم فاصلهٔ بیشتری تاهسته دارد، در تراز انرژی سوم قرار گرفته که‌آن را ترازMیا n = ۳ می‌گویند.

باتوجه‌به سطوح انرژی نامبرده، آرایش الکترونی اتم سدیم رامی‌توان به شکل زیر نمایش

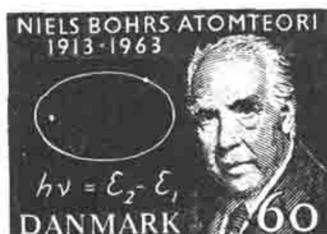


داد[1].

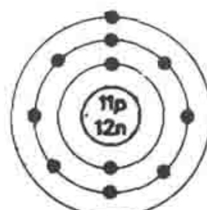
فعالیت ۱ — با استفاده از جدول انرژی‌یونیزاسیون، تعیین کنید چند الکترون را باید از اتم‌کلسیم برداشت تامواجه‌با یک‌جهش‌بزرگ درانرژی یونیزاسیون‌شویم ؟در اتم‌آلومینیم چطور ؟

۱— دراینجا یادآورمی‌شویم که دانشمندان‌از راههای گوناگون‌برای‌شناختن‌چگونگی‌آرایش الکترونها به دور هسته و رسیدن به ترازهای انرژی وتعدادالکترونهادرهرسطح‌استفاده‌کرده‌اند. بوهر (Bohr) دانشمند بزرگ دانمارکی با مطالعه روی‌طیف عناصر درحال التهاب‌ومحاسبهٔ فرکانس و انرژی نور حاصل از آنها ، اولین مدل اتمی را درمورد سطوح انرژی‌وآرایش‌الکترونها به دور هسته پیشنهادنمودکه مطابق آن الکترونها مانند سیارات منظومهٔ شمسی در مدارهایی دور هسته می گردند .

مطابق مدل اتمی بوهر می‌توان ساختمان اتم سدیم را مانندشکل زیر نشان داد . این شکل وجود ۱۱ پروتون‌و ۱۲ نوترون را در هسته می رساند . ۱۱ الکترون سدیم‌نیز درمدارهای سه گانه n = ۱ ، n = ۲ و n = ۳ قرار گرفته که دور هسته درحال گردش هستند .



نیلزبوهر (۱۹۶۲ — ۱۸۸۵)



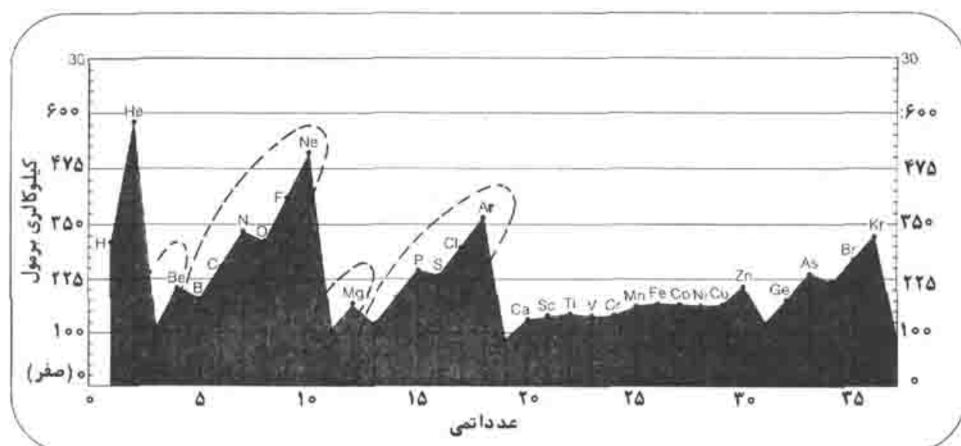
اتم سدیم

در درس‌فیزیک سال‌آینده اطلاعات بیشتری راجع به مدل‌اتمی‌بوهر به‌دست خواهیدآورد .

فعالیت ۲ ـ با استفاده از داده‌های جدول انرژی یونیزاسیون، روی یک کاغذ شطرنجی مقادیر انرژیهای یونیزاسیون پتاسیم را بر روی محور عمودی و عدهٔ الکترونهای جداشده را بر روی محورافقی منتقل کنیدو بنویسید دراین‌موردچند گروه الکترونی تشخیص می دهید. آیا این گروههای الکترونی با موقعیت پتاسیم در تناوب چهارم جدول تناوبی تطبیق می‌کند؟ همین فعالیت را در مورد نیتروژن تکرار کنید.

بیایید اتم بسازیم! برای شروع کار خود از نمودار زیر بعنوان الگو استفاده می‌کنیم.

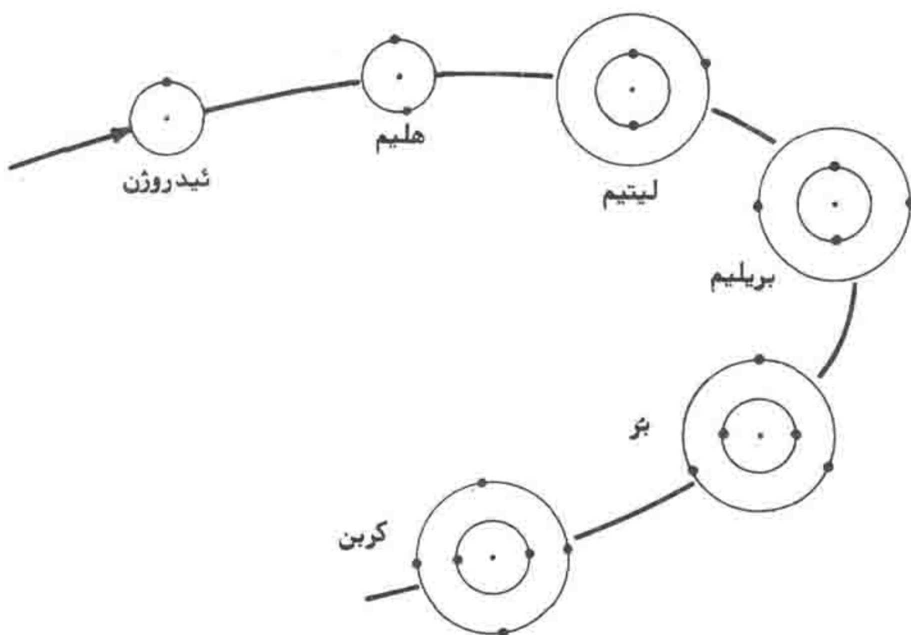
شکل‌مذکورنمودار نخستین انرژی یونیزاسیون مربوط به ۳۷ عنصر اول جدول تناوبی است (ازئیدروژن‌تا روبیدیم). چنان‌که می‌بینید عدد اتمی عناصر که نمایندهٔ تعداد الکترونهاست در محور افقی قراردارد، ونخستین انرژی یونیزاسیون این عناصر نیز روی محور عمودی برده شده است.



ساختن اتمها را بابررسی نمودار ازچپ به راست آغاز می‌کنیم وچنین می‌پنداریم که با فراهم شدن الکترونهای بیشتر، اتمهای سنگین‌تری ساخته می‌شود. (درهرمورد چنین فرض می‌کنیم که هستهٔ مناسب را در اختیار داریم.) نمودار درسمت چپ با عنصر ئیدروژن آغاز می‌گردد که آن را بایک الکترون می‌سازیم. پس گرفتن این الکترون مستلزم صرف مقدار قابل توجهی انرژی می‌باشد (بااستفاده ازنمودار فوق، مقدار تقریبی این انرژی را پیداکنید).

دومین‌عنصر، گاز هلیم است که با دوالکترون ساخته می‌شود، این دوالکترون همان‌طوری که می‌دانید دراولین تراز انرژی اتم قرارمی‌گیرند. نمودار نشان‌می‌دهدکه جداکردن نخستین الکترون ازاین‌عنصر مستلزم مصرف کردن بالاترین انرژی است.

سومین‌عنصرفلز قلیایی لیتیم (Li) است که با سه الکترون ساخته‌می‌شود. چنان که در نمودار ملاحظه‌می‌کنید، نخستین‌انرژی یونیزاسیون لیتیم نسبت به هلیم‌دچار کاهش شدیدی



می‌گردد. نخستین انرژی یونیزاسیون از لیتیم تا نئون افزایش یافته وپس از رسیدن به یک ماکزیمم، یک باردیگر درسدیم به شدت کاهش می‌یابد.

برای ساختن اتم سدیم به ۱۱ الکترون نیازداریم. باقراردادن یک الکترون درترازاول، ئیدروژن ساخته می‌شود وبا قراردادن ۲ الکترون دراین تراز به هلیم می‌رسیم. چنان که دیده شد سومین الکترون در تراز دوم قرارمی‌گیردو عنصر لیتیم را پدید می‌آورد. الکترونهای بعدی که‌درتراز دوم‌قرار می‌گیرند باعث پیدایش‌عناصربریلیم(Be)تانئون(Ne) می‌شوند. باپیدایش‌گاز نئون، تراز دوم نیز کامل می‌شود. بدیهی است که یازدهمین الکترون در تراز سوم قرارگرفته و این خود به ساخته شدن اتم سدیم منجر می‌شود.

ترازهای فرعی انرژی ــ نکتهٔ مهم دیگری که‌درنمودارصفحهٔ قبل‌جلب‌توجه‌می‌کند، آن است که گروههای‌هشت‌الکترونی هریک به دوگروه فرعی۲و ۶ الکترونی تقسیم شده‌اند. (برای‌روشن‌شدن مطلب، این‌گروههای‌فرعی با بیضیهای نقطه‌چین مشخص شده‌اند.گروه ۶ الکترونی‌نیز شامل دو دسته ۳ و ۳ می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان گفت که گروه هشت الکترونی به صورت ۲ ،۳ و ۳ درآمده است.) باتوجه‌به این نمودارنتیجه می‌گیریم‌که الکترونها دراین‌گروههای فرعی ازلحاظ انرژی اندکی بایکدیگر تفاوت‌دارند. براین‌اساس وشواهدتجربی دیگراین نتیجه به‌دست آمده است که سطح انرژی دوم (n =۲) خودبه دوتراز انرژی تقسیم می‌شود که تراز اول‌آن‌گنجایش حداکثر ۲ الکترون‌راداشته که به عنوان تراز فرعی 2s شناخته شده است. تراز فرعی دیگر را به عنوان 2p می‌شناسندوگنجایش حداکثر ۶ الکترون رادارد.

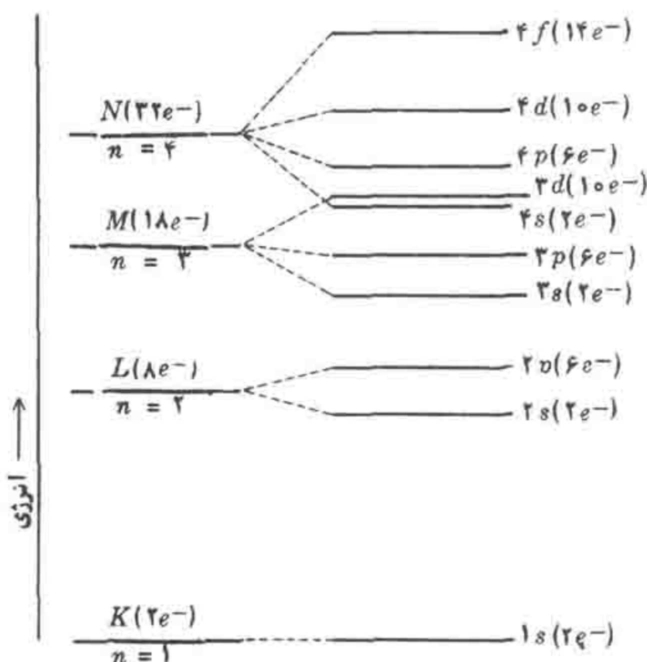
این نمودار همچنین نشان می‌دهدکه نخستین انرژی یونیزاسیون Al از Mg کمتر است، پس می‌توان نتیجه‌گرفت که برداشتن الکترون از ترازفرعی ۳p کمی آسانتراز برداشتن الکترون ازتراز فرعی ۳s است. به زبان دیگر درهرسطح اصلی، ترازانرژی s پایین‌تر ازترازانرژی p می‌باشد.

آزمایش وتحقیق نشان می‌دهدکه سطح انرژی سوم (n=۳) به سه تراز فرعی تقسیم می‌شود که به ترتیب عبارتنداز ۳s، ۳p و ۳d. سطح انرژی چهارم (n=۴) نیزشامل چهار ترازانرژی فرعی‌است که آنهارا ۴s، ۴p، ۴d و ۴f می‌گویند. حداکثر گنجایش ترازفرعی d ، ۱۰ الکترون وحداکثر گنجایش تراز فرعی f ، ۱۴ الکترون‌می‌باشد.

پرسش: چرا در دورهٔ تناوبی اول فقط ۲ عنصر و در دورهٔ تناوبی دوم ۸ عنصر وجود دارد؟

ترتیب پرشدن ترازهای انرژی در اتم.

شکل زیر ترتیب پر شدن عده‌ای از ترازهای انرژی فرعی را نشان می‌دهد.



سطوح انرژی اصلی وترازهای فرعی‌آنها

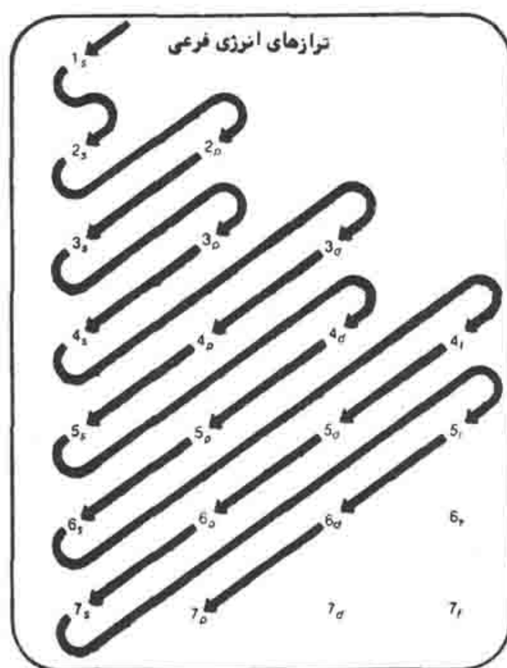
مطابق شکل فوق، الکترونها به‌ترتیب، ترازهای انرژی‌پایین را پرکرده و به تدریج به سطح بالاتر می‌رسند. همان‌طوری که می‌دانید، اولین دو الکترون اتم در سطح انرژی n = ۱ قرار می‌گیرد که شامل تراز ۱s است.

در سطح انرژی دوم نیز، پس از پرشدن تراز فرعی 2s نوبت به 2p می‌رسد که با ۶ الکترون پر می‌شود.

در سطح انرژی سوم، ابتدا 3s و سپس 3p پر می‌شوند ولی همان‌طوری‌که در شکل دیده می‌شود، تراز انرژی 3d اندکی بالاتر از تراز فرعی 4s است. بنابراین اشغال 3d باید پس از پر شدن 4s صورت گیرد. پس از قرار گرفتن ۱۰ الکترون در 3d نوبت به ترازهای بالاتر می‌رسد.

شکل زیر (سمت راست) الگویی را برای ترتیب پر شدن ترازهای انرژی در اتم نشان می‌دهد.

جدول سمت‌چپ نیز آرایش الکترونی بیست عنصر اول جدول تناوبی رابا توجه به‌اصول پر شدن ترازهای انرژی، نشان می‌دهد.

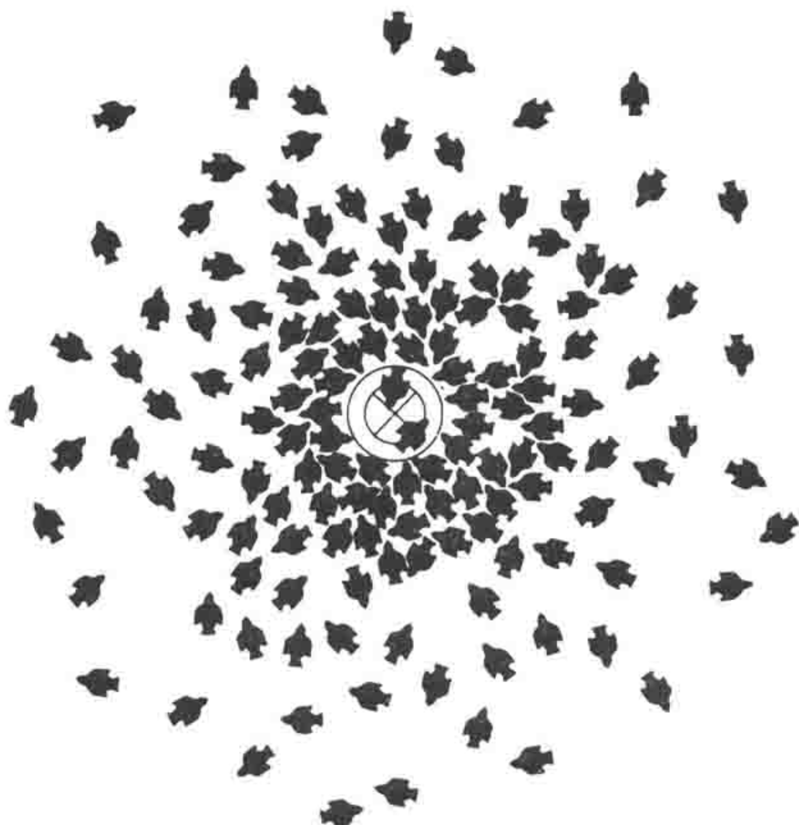


عدد اتمی	عنصر	آرایش الکترونی
1	H	$1s^1$
2	He	$1s^2$
3	Li	$1s^2,\ 2s^1$
4	Be	$1s^2,\ 2s^2$
5	B	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^1$
6	C	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^2$
7	N	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^3$
8	O	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^4$
9	F	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^5$
10	Ne	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^6$
11	Na	$1s^2,\ 2s^2,\ 2p^6,\ 3s^1$
12	Mg	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^6,\ 3s^2$
13	Al	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^6,\ 3s^2\ 3p^1$
14	Si	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^6,\ 3s^2\ 3p^2$
15	P	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^6,\ 3s^2\ 3p^3$
16	S	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^6,\ 3s^2\ 3p^4$
17	Cl	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^6,\ 3s^2\ 3p^5$
18	Ar	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^6,\ 3s^2\ 3p^6$
19	K	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^6,\ 3s^2\ 3p^6,\ 4s^1$
20	Ca	$1s^2,\ 2s^2\ 2p^6,\ 3s^2\ 3p^6,\ 4s^2$

۸ـ مدل ابر الکترونی برای اتم

تامدتی برای تصویر ساختمان اتمها ازمدل سیاره‌ای‌همانندمنظومهٔ شمسی استفاده‌می‌شد. به این صورت که مثلا" دراتم ئیدروژن، الکترون دریک مدار ثابت درفاصلهٔ معینی نسبت به هستهٔ اتم حرکت می‌کند.

به کمک مدل منظومهٔ شمسی، بسیاری ازخواص الکترونها دراتم ورفتار موادگوناگون قابل توجیه بود. ولی به مرورزمان هم پرسشهای روز افزونی بدون پاسخ ماند و هم شواهد ودلایل



متعددی برای پیشنهادمدل یاتئوری بهتری درموردساختمان اتم وموقعیت الکترونها درآن به دست آمد.

مطابق مدل جدیداتم، نمی‌توان الکترون راهمان‌طوری که بوهر فرض کرد، ذره‌ای دانست که روی مدار کاملا" مشخصی به‌دور هسته در حال‌گردش باشد. واقعیت این است که تعیین محل دقیق‌الکترون دریک اتم ازنظر تجربی‌امکان‌ندارد‌و فقط می‌توان راجع به احتمال حضورالکترون درناحیهٔ معینی ازفضا درحول هسته صحبت کرد. چنین ناحیه‌ای ازفضا اربیتال (Orbital) نام‌دارد.

اربیتال فضایی دراطراف هسته‌است که بیشترین احتمال حضورالکترون‌را دارامی‌باشد.

برای به دست آوردن تصور ساده‌ای از اربیتال می‌توان از تشبیه زیر استفاده کرد.

پرنده‌ای رادریک قفس‌بزرگ درنظر می‌گیریم‌که کلیهٔ‌حرکات وجابه‌جا شدنهای‌آن درون قفس، هر ۱۰ دقیقه یک بار به‌وسیلهٔ دوربین مخصوصی عکسبرداری می‌شود. پس‌از گذشت یک روز، عکسهای مختلف پرنده را روی یک شکل منتقل می‌کنیم. ملاحظه می‌شود که مطابق‌شکل ناحیه‌ای که قسمت‌اعظم وقت‌پرنده درآن می‌گذرد، رنگ‌تیره‌تری دارد. بدیهی است که احتمال حضور پرنده در اطراف ظرف غذابیشتر است و با فاصله گرفتن‌از آن، این احتمال کمتر می‌شود.

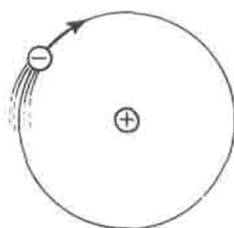
چنین تصویری احتمال نسبی وجود پرنده را در هرنقطه نشان می‌دهد ولی هرگز کیفیت جابه‌جا شدن و خط سیر آن را مشخص نمی‌کند.

درمورد اتم نیز احتمال وجود الکترون در نقاط گوناگون، همچنین شکل اربیتال قابل تشخیص است، ولی هرگز نمی‌توان کیفیت جا به جا شدن الکترون و انتقال آن را از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر مشخص کردو یا موقعیت آن را در لحظه‌ای از زمان تعیین نمود.

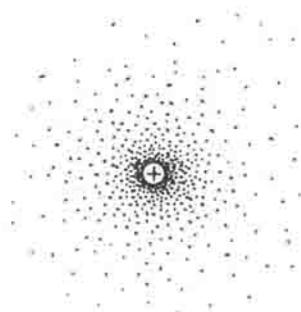
معمولا" احتمال وجودالکترون رادرنقاط گوناگون اطراف هسته به وسیلهٔ نقطه‌هایی نشان می‌دهند. تراکم این نقطه‌ها دراطراف هسته به‌صورت ابری درمی‌آید که برای نمایش مدل ابر الکترونی اتم (Electron Cloud) به کارمی‌رود. هرکجا تراکم ابر الکترونی بیشتر باشد، احتمال حضور الکترون درآنجا بیشتر است.

شکل زیر ساختمان الکترونی ئیدروژن را مطابق مدل سیاره‌ای بوهر ومدل ابر الکترونی نشان می‌دهد.

مطابق‌مدل‌ابرالکترونی، می‌توان الکترون رادراتم ئیدروژن دریک‌فضای سه‌بعدی به‌صورت



مدل سیاره‌ای اتم ئیدروژن



مدل اوربیتالی اتم

ابری‌که‌هسته‌را احاطه کرده‌است، مجسم ساخت. هرچند که دراین مدل احتمال حضورالکترون در هر فاصله نسبت به هسته قابل تصور است، ولی برای این ابر کروی مرزی می‌توان در نظر گرفت که بیشترین احتمال حضور الکترون را در بر داشته باشد.

۹ـ اربیتالها و ترازهای انرژی

قبلا" راجع به ترازهای انرژی s ، p ، d ، f ، صحبت شد. حال به‌جای آنها می‌توان از اربیتالهای s ، p ، d ، f ، سخن به میان آورد.

با طرز قرارگرفتن الکترونها درترازهای‌انرژی آشناشدید. قاعدهٔ کلی "ساختن "اتمهااین بود که همواره از "طبقهٔ پایین" شروع کنید. به عبارت دیگر، درابتدا ترازهایی که درسطح انرژی پایین تری قراردارند، پر می‌شوند. سپس نوبت به ترازهای‌بالاتر می‌رسد. این اصل در

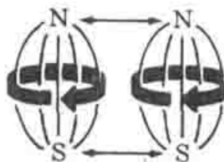
مورد اربیتالهای s ، p ، d ، f ، نیز صدق می‌کند.

مسئله‌ای که در اینجا عنوان می‌شود، چگونگی قرارگرفتن الکترونها دراربیتالهاست. آزمایش وتحقیق نشان می‌دهد که حداکثر گنجایش هر اربیتال اتمی فقط دو الکترون است.

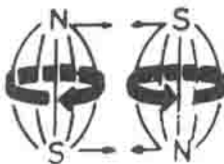
اربیتال 1s را دراتم هلیم مورد توجه قرار می‌دهیم. می‌دانید که وارد شدن دوالکترون دریک اربیتال ، مسئلهٔ نیروی دافعه رامیان آنها مطرح می‌کند.

باتصورگردش الکترون به دورمحور خود در اربیتال ، دواحتمال پیش می‌آید، گردش در جهت عقربهٔ ساعت ودرخلاف جهت آن. ازدورهٔ راهنمایی تحصیلی به یاد دارید که جهت گردش سیم پیچ الکتریکی باجهت قرارگرفتن قطبهای آهن ربا ارتباط دارد.

باتوجه به این نکته که الکترون دارای بار الکتریکی است، گردش آن در دوجهت مخالف، مطابق شکل زیر باعث پیدایش قطبهای مخالف آهن‌ربا ونیروی جاذبه میان آنها می‌گردد.



رانش آهنربایی



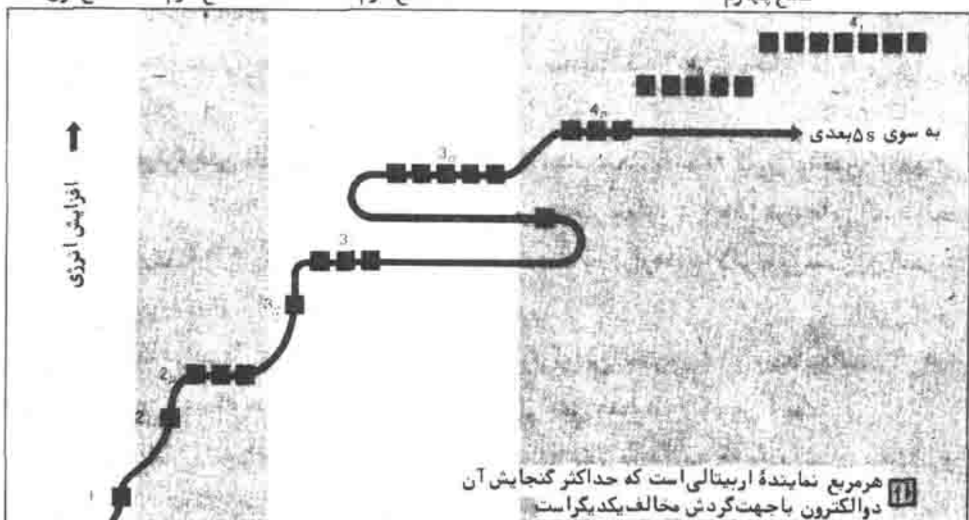
ربایش آهنربایی

نیروی ربایش مغناطیسی حاصل، نیروی رانش الکتریکی میان الکترونها را جبران می‌کند.

جفت الکترون یک اربیتال را به وسیلهٔ دوفلش موازی که دارای جهتهای مخالف هستند، نشان می‌دهند.

آگاهی ازاین اصل که حداکثر گنجایش یک اربیتال دو الکترون است، راه ساده‌ای برای محاسبهٔ تعداد اربیتالها درهر یک ازترازهای انرژی پیش می‌کشد و مارا درمشخص کردن آرایش الکترونها دراتمها یاری می‌کند.

چون ماکزیمم گنجایش هریک از ترازهای انرژی s ، p ، d، f ، به‌ترتیب ۲، ۶، ۱۰، ۱۴ الکترون است، می‌توان گفت که‌تراز



انرژی s شامل یک اربیتال، ترازانرژی p شامل سه اربیتال، تراز انرژی d شامل‌پنج اربیتال و بالاخره ترازانرژی f شامل هفت اربیتال‌است.

پرسش ــ حداکثرتعداد اربیتالهای‌ممکن‌درسطح‌چهارم‌انرژی اتم چقدراست ؟حداکثرتعداد الکترون چطور؟

شکل‌صفحه‌قبل‌وزیرالگویی‌برای نشان‌دادن‌ترتیب‌پرشدن‌اربیتالهای‌گوناگون‌رانشان‌می‌دهد.

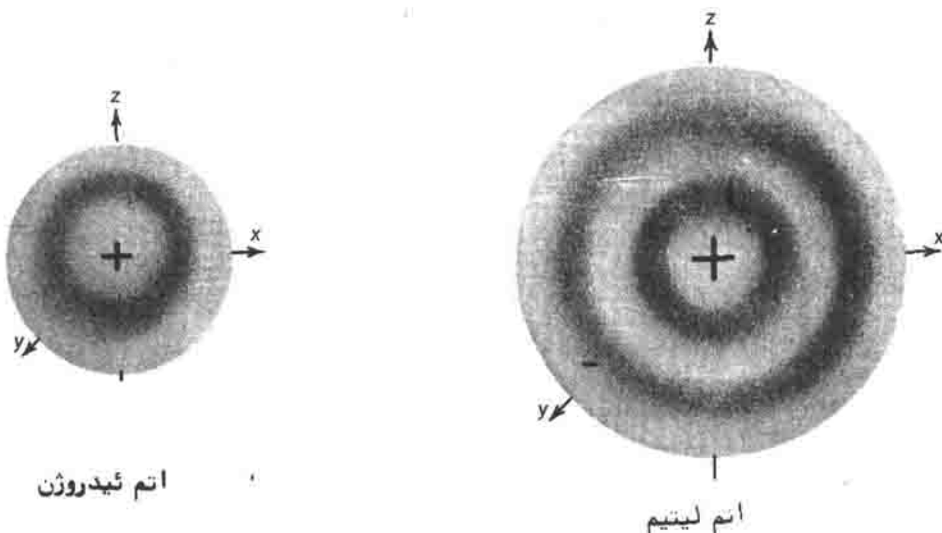
عنصر	آرایش‌الکترونی	
$_1H$	$1s^1$	↑ $\underline{\ }$ 1s
$_2He$	$1s^2$	⇅ 1s
$_3Li$	$1s^2 2s^1$	⇅ ↑ / 1s 2s
$_4Be$	$1s^2 2s^2$	⇅ ⇅ / 1s 2s
$_5B$	$1s^2 2s^2 2p^1$	⇅ ⇅ ↑ _ _ / 1s 2s 2p 2p 2p
$_6C$	$1s^2 2s^2 2p^2$	⇅ ⇅ ↑ ↑ _ / 1s 2s 2p 2p 2p
$_7N$	$1s^2 2s^2 2p^3$	⇅ ⇅ ↑ ↑ ↑ / 1s 2s 2p 2p 2p
$_8O$	$1s^2 2s^2 2p^4$	⇅ ⇅ ⇅ ↑ ↑ / 1s 2s 2p 2p 2p
$_9F$	$1s^2 2s^2 2p^5$	⇅ ⇅ ⇅ ⇅ ↑ / 1s 2s 2p 2p 2p
$_{10}Ne$	$1s^2 2s^2 2p^6$	⇅ ⇅ ⇅ ⇅ ⇅ / 1s 2s 2p 2p 2p

فعالیت: موقعیت‌تفاوت ترازهای انرژی s ، p ، d ، f را نسبت به یکدیگر بااستفاده از شکل فوق بایکدیگر مقایسه‌کنید. با توجه به‌مطالعهٔ قبلی و الگوی فوق، آرایش الکترونی عناصر دورهٔ‌اول و دوم جدول تناوبی به صورت اربیتالی درجدول صفحهٔ بعد نشان داده شده است.

تمرین: جدولی‌رسم کنید که در آن آرایش‌الکترونی عناصردورهٔ تناوبی سوم نشان‌داده‌شود.

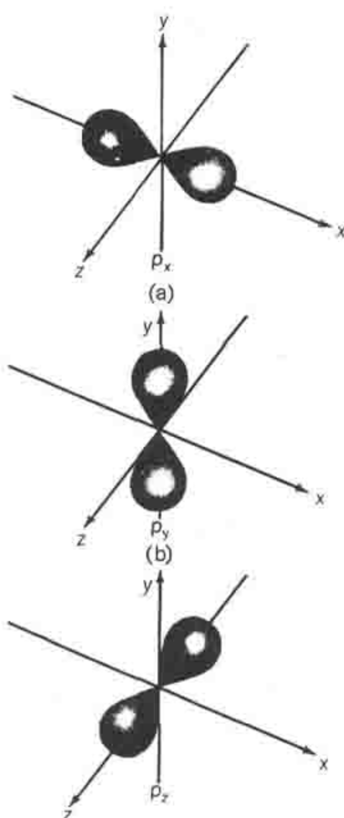
شکل‌اربیتالهای s وطرزقرارگرفتن‌الکترونها‌درآنها ــ باشکل ساده‌اربیتال 1s درمورد اتم ئیدروژن آشناشدید. دراتم هلیم که ۲ الکترون در اربیتال 1s آن وجوددارد، مانند ئیدروژن یک ابر الکترونی کروی ومتقارن دورهستهٔ هلیم خواهیم داشت. منتها دراین مورد، این ابر نمایندهٔ دوالکترون می‌باشد (گاهی ابر مربوط به دوالکترون را تیره رنگتر ازابر مربوط به یک الکترون رسم می‌کنیم).

دراتم‌لیتیم باتوجه‌به‌تفاوت‌قابل‌توجه‌انرژی‌یونیزاسیون‌آخرین سطح نسبت‌به‌الکترونهای سطح قبلی، ابرالکترونی 2s فاصلهٔ بیشتری تاهسته خواهد داشت‌این ابر نیزچون وابسته به



الکترون s است، به طور کروی ومتقارن درحول هسته قرارمی‌گیرد.

ابرهای‌الکترونی‌اتمهای‌ئیدروژن، هلیم، لیتیم، وبریلیم‌شکل کروی دارندزیرا در این‌اتمها فقط الکترون s (الکترون‌مربوط به‌اربیتال s)وجوددارد. البته اندازهٔ این اربیتالها باهم‌فرق دارد وشعاع اربیتال باافزایش n، فزونی می‌یابد.



اربیتالهای p وطرزقرارگرفتن الکترونهادر آنها– اربیتالهای p کروی‌نیستند وهریک ازآنها به‌شکل‌یک‌دمبل است. سه اربیتال p را می‌توان درامتدادسه‌محورفضایی x و y و z که بریکدیگر عمودهستند نشان داد.

محل‌تلاقی‌این‌سه محور نیز برهسته‌منطبق است. بااین ترتیب تراکم ابرالکترونی مربوط به هریک از اربیتالهای p درهستهٔ اتم صفراست. دراینجا باید به این نکته توجه شود که هر یک ازدمبلها نمایشگریک اربیتال است که ممکن‌است شامل یک ویاحداکثر دو الکترون باشد.

درمطلب‌قبلی‌با چگونگی آرایش الکترونی دراتمهای‌چهارعنصر اولیهٔ جدول که فقط شامل اربیتالهای s هستند، آشنا شدید، حال برای بررسی آرایش الکترونها در اربیتالهای p، عنصر

پنجم راکه عدد اتمی آن ۵ ونام آن بور (B) است مورد مطالعه قرارمی دهیم.

آرایش الکترونی بور به‌صورت زیر است:

$$\frac{\uparrow\downarrow}{1s} \mid \frac{\uparrow\downarrow}{2s} \mid \frac{\uparrow}{2p}$$

یا $1s^2\,2s^2\,2p^1$

(c)
y
x
z
$p_x\ p_y\ p_z$
(d)

عنصرششم جدول، کربن است که عدد اتمی آن ۶ می باشدوآرایش الکترونی آن $1s^2 2s^2 2p^2$ درمورد کربن سوءال مهمی مطرح می شود. یک اربیتال می‌تواند دو الکترون را که جهت چرخش مخالف دارند در برگیرد. حال آیا الکترونهای ۲p اتم کربن دریک اربیتال ویا در دو اربیتال p قرار می‌گیرند؟ بجاست که این سوءال را به صورت مصور زیر بپرسیم. کدام یک از این دو تصویر نمایش بهتری برای قرار گرفتن در اربیتالهای p است؟

$$\frac{\uparrow\downarrow}{1s}\ \frac{\uparrow\downarrow}{2s}\ \frac{\uparrow}{2p}\ \frac{\uparrow}{2p}\ \frac{}{}$$ تصویراول

یا

$$\frac{\uparrow\downarrow}{1s}\ \frac{\uparrow\downarrow}{2s}\ \frac{\uparrow\downarrow}{2p}\ \frac{}{2p}\ \frac{}{2p}$$ تصویر دوم

شواهد تجربی نشان می دهدکه تصویر اول درست است وبا خواص کربن مطابقت دارد.

مطابق یک قاعدهٔ کلی، درمجموعه اربیتالهایی که دریک تراز قرارگرفته و انرژی یکسانی دارند، ابتدا یک الکترون درهر اربیتال قرارمی‌گیرد. هنگامی جفت شدن الکترونها آغازمی گردد که اربیتال خالی در آن مجموعه وجودنداشته باشد.

تمرین:

مطابق دستورفوق آرایش الکترونهارا دراتمهای نیتروژن (z = ۷) تانئون (z = ۱۰) رسم کنید.

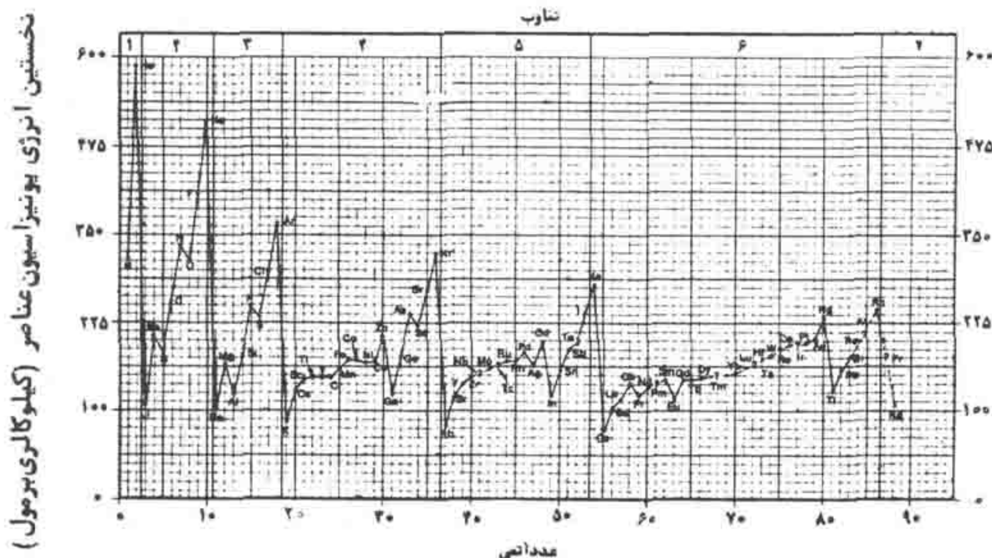
هرگاه نمودار صفحهٔ ۵۳ را مجدداً بررسی نمایید، دلیلی برصحت این دستورپیدا می‌کنید. ترازهای‌شش الکترونی p به دودستهٔ مشخص که هریک شامل سه الکترون هست تقسیم می شوند. برای‌مثال، درتراز انرژی دوم، عناصر بور، کربن ونیتروژن شرایط تقریباً مشابهی داشته و همان طوری‌که دیدید، الکترونهای p یک به یک در اربیتالهای آنها وارد می‌شوند. پس از قرارگرفتن سه‌الکترون منفردجفت‌نشده درسه اربیتال p نوبت جفت شدن الکترونها می‌رسد که در دستهٔ دوم اکسیژن، فلوئور ونئون دیده می‌شود.

درپایان این مبحث یادآور می‌شویم که اربیتالهای d و f شکل پیچیده‌تری دارند وبررسی آنها خارج از حدود مطالب این کتاب است.

۱۰-آرایش الکترونی اتمها وجدول تناوبی

می‌دانید که مطالعهٔ ما دراین‌فصل شامل جمع آوری مدارک وشواهدی بود که مارا به طور علمی‌وصحیح به چگونگی ساختمان اتم برساند. جدولها و نمودارهای انرژی یونیزاسیون عناصر نیز به توجیه رابطهٔ میان خواص عناصر وآرایش الکترونی آنها کمک زیادی کرد. حال که چنین آگاهیهایی به‌دست آمد، به عقب برمی‌گردیم تابسیاری از خصوصیات جدول تناوبی وعلت‌رفتار عناصررا که تاکنون برای ماروشن نشده است، تفسیر کنیم‌و پیشگوییهای فراوانی به عمل آوریم. چنین دانستنیهایی نه فقط برای شناختن خواص عناصر اهمیت داردبلکه درمبحث پیوندها (فصل‌چهارم) نیز مارا از رفتار ترکیبهای‌شیمیایی آگاه‌می‌سازد ودرپیشگویی خواص آنها یاری می‌نماید.

قبلا" دراتم‌سدیم بااستفاده‌ازانرژیهای‌یونیزاسیون‌متوالی به‌آرایش‌الکترونی (Na:۲،۸،۱) رسیدیم. در موردپتاسیم‌که به‌عنوان تمرین حل کردید نیز آرایش الکترونی (K: ۲،۸،۸،۱) را برای‌آن به دست‌آورید. در جدول زیر، تغییرات نخستین انرژی یونیزاسیون عناصر گوناگون برحسب افزایش عدد اتمی نشان داده شده است. (نمونهٔ دیگری ازاین جدول را سابقا" برای تعداد کمتری از عناصر مورد بررسی قراردادید).

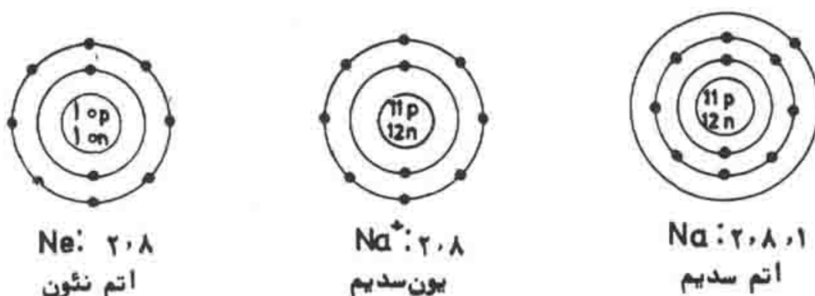


نقاط ماکزیمم این منحنی به‌وسیلهٔ گازهای بی اثر هلیم، نئون، آرگن، کریپتون،گزنون و رادون‌اشغال‌شده‌است. بنابراین بیشترین انرژیهای یونیزاسیون درهر دوره‌مربوط به این عناصر می‌باشد. بامراجعه به‌جدول ضمیمهٔ آخر کتاب مشاهده می‌کنید که این عناصر (به‌جزهلیم که فقط دوالکترون دارد) دارای اربیتالهای s و p کاملا" پر هستند. بنابراین می‌توان پر بودن این اربیتالهارا دلیلی برای بی اثر بودن نسبی آنهادانست.

همچنین می‌توان به این نتیجهٔ کلی رسیدکه پایدارترین حالت برای آرایش الکترونی هنگامی فراهم می‌شود که اربیتالهای s و p پر باشند.

درمورد فلزات قلیایی نیز به یاد داریدکه فعالیت شیمیایی بسیارزیادی دارند. به کمک نمودارِبالا، می‌توان این خاصیت را به آسانی توجیه کرد. چنان که مشاهده می‌کنید این عناصر مینیممهای منحنی تغییرات انرژی یونیزاسیون راتشکیل می‌دهند. می‌دانیدکه درخارجی ترین ترازانرژی این‌عناصر فقط یک الکترون وجوددارد که به‌آسانی آن را ازدست می‌دهندو به یونی با یک بارمثبت تبدیل می‌شوند. شکل صفحهٔ بعد نشان می‌دهد که آرایش الکترونی یون سدیم مانندگاز بی‌اثر نئون است (دراین‌شکل ازمدل اتمی بوهر استفاده شده‌است)

پرسش ۱ــ هرگاه‌بدانیدکه انرژی‌یونیزاسیون فلز M_1 مساوی ۱۱۹ کیلوکالری برمول‌وفلز M_2



Na : ۲،۸،۱
اتم سدیم

Na^+: ۲،۸
یون‌سدیم

Ne: ۲،۸
اتم نئون

مساوی ۱۰۰ کیلوکالری برمول باشد، حدس بزنیدشدت ترکیب کدام یک ازاین دوفلز با آب بیشتراست ؟

پرسش ۲ــ کدام‌گروه‌ازعناصر، دومین‌مرتبه را ازلحاظ زیادبودن‌نخستین‌انرژی یونیزاسیون دارند؟موقعیت این گروه از عناصر رانسبت به گروهی که بالاترین انرژی یونیزاسیون رادارند، درجدول تناوبی مشخص کنید.

پرسش ۳ــ برای ساختن چشم الکتریکی که نمونه‌ای ازآن دردستگاه دزدگیر به کارمی‌رود، ازفلز سزیم (Cs) استفاده می‌کنند. برخورد نور به‌این فلز باعث پیدایش جریان الکتریسیته می‌شود. با استفاده از نمودار انرژی یونیزاسیون، علت انتخاب این فلز رابیان کنید.

بررسی دوره‌ای عناصر جدول تناوبی

الف ــ تغییر در آرایش الکترونی عناصر [1]

نمودار صفحهٔ۶۳می‌رساند که هریک از دوره‌های جدول تناوبی (به‌جز دورهٔ اول که فقط

۱ــ این بررسی درحکم تمرینی برای شناخت رابطهٔ میان‌آرایش الکترونی عناصرو موقعیت آنها در جدول تناوبی است . آگاه بودن دانش‌آموزان از اصول کلی این ارتباط کافی است و لزومی به حفظ‌کردن کلیهٔ جزئیات نیست .

شامل ئیدروژن وهلیم است)، بایک فلز قلیایی شروع می‌شود وبه یک گاز بی‌اثر ختم می‌گردد.

دورهٔ دوم جدول نیز همان طوری که درفصل دوم دیدیدشامل هشت عنصر است. در عناصرلیتیم وبریلیم اربیتال $2s$ درحال پرشدن است ودرعناصر بور، کربن، نیتروژن، اکسیژن، فلوئور ونئون، اربیتالهای سه گانهٔ $2p$ تدریجا" پر می‌شوند. می‌دانیدکه دورهٔ سوم نیزمانند دورهٔ دوم دارای هشت عنصر است که بافلز قلیایی سدیم شروع شده وبه گاز بی‌اثر آرگن ختم می‌گردد.

دورهٔ چهارم همان طوری که ازفصل دوم می‌دانید، شامل ۱۸ عنصر بوده که بافلز پتاسیم باآرایش‌الکترونی $K: 1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^1$ یا $K: [Ar]^* 4s^1$ شروع‌می‌شود. بعد ازپتاسیم، عنصر کلسیم باعدداتمی ۲۰ قراردارد که آرایش الکترونی آن به صورت $[Ar]4s^2$ است.

بامراجعه به نمودار ترازهای انرژی الکترونهاملاحظه می‌کنید که بعداز ترازانرژی $4s$، تراز انرژی $3d$ قراردارد، بنابراین پس از پرشدن اربیتال $4s$ نوبت به اربیتالهای $3d$ می‌رسد. ازاین رو الکترون بعدی درعنصر اسکاندیم ($_{21}Sc$) وارد تراز انرژی $3d$ می‌شود. چون گنجایش این تراز جمعا" ۱۰ الکترون می‌باشد، بنابراین درعناصر بعدی، اربیتالهای $3d$ تدریجا" اشغال می‌شود به‌طوری‌که درعنصر روی ($_{30}Zn$)،این اربیتالها کاملا" پر می‌شوند.

دسته‌ای‌ازعناصر که اربیتالهای d آنها در حال پر شدن است، عناصر واسطه نام‌دارند. بعداز عنصر روی، ازگالیم ($_{31}Ga$)، الکترونها وارد اربیتالهای $4p$ شده ودر کریپتون($_{36}Kr$) پر می‌شوند. این دوره جمعا" شامل ۱۸ عنصر است.

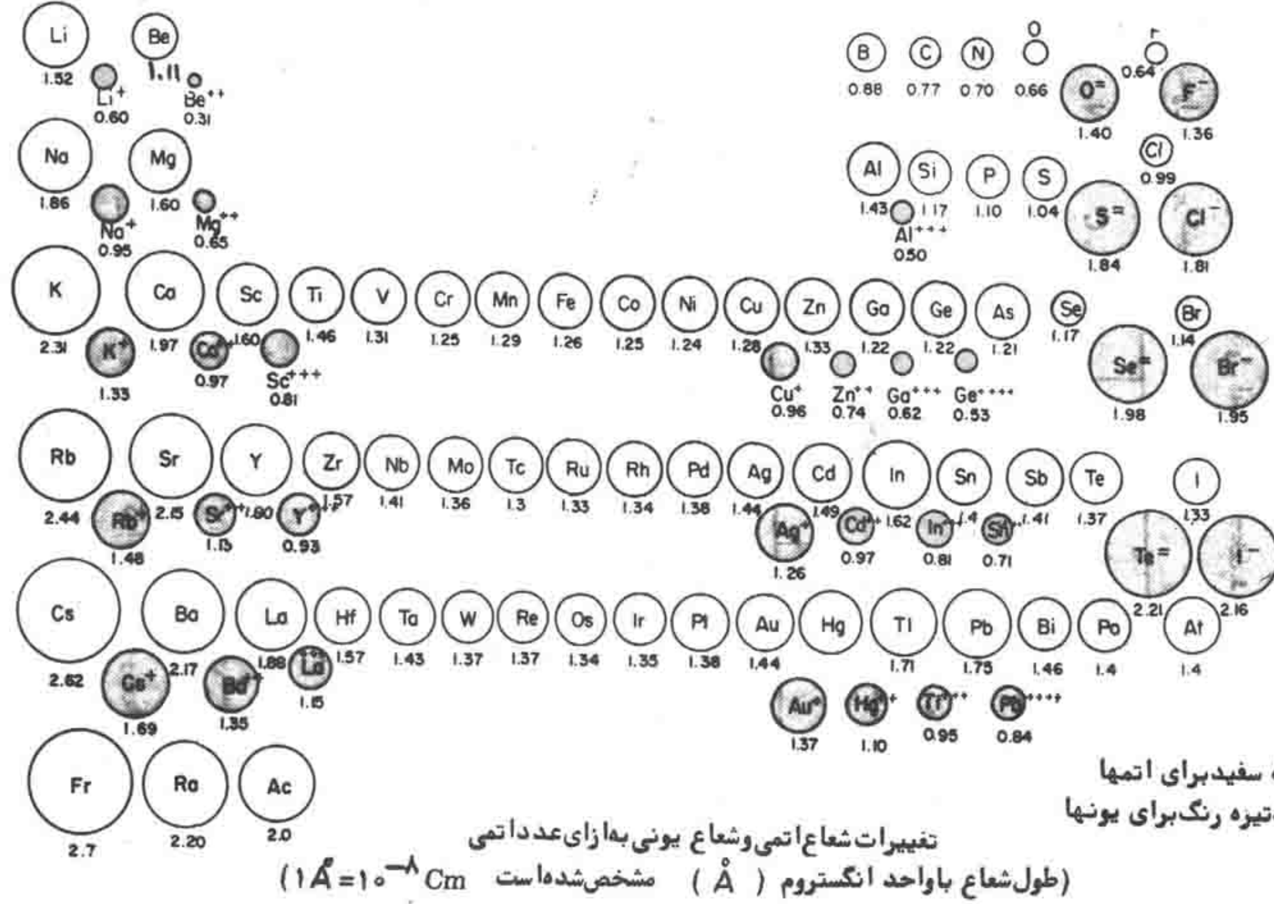
ترتیب پر شدن اربیتالها در دورهٔ تناوب‌پنجم مانند دورهٔ چهارم است و در اینجا نیز ۱۸ عنصر وجوددارد. دورهٔ تناوب‌ششم وهفتم، همان طوری که می‌دانید شامل سری عناصر لانتانیدها واکتنیدها نیز هستند که ترتیب پرشدن اربیتالهای آنها کم وبیش از الگوی صفحهٔ ۸۵ تبعیت می‌کند و بررسی آن خارج از حدود بحث این کتاب است؛

بررسیهای فوق دربارهٔ عناصر گوناگون ما را به این نتیجه می‌رساند که ترتیب پر شدن اربیتالهادرعناصر جدول تناوبی برحسب افزایش تدریجی انرژی الکترونهابوده وبا نمودار انرژی یونیزاسیون عناصر مطابقت دارد.

ب ــ تغییر در شعاع اتمها و تأثیر آن بر خواص ــ می‌دانید که عدد اتمی عناصر درهر یک از دوره‌های جدول تناوبی از سمت چپ به سمت راست افزایش می‌یابد. همچنین می‌دانید که انرژی یونیزاسیون نیز در طول همین دوره‌ها بیشتر می‌شود. برای مطالعه نقش افزایش عددهٔ

---

*ــ علامت [Ar] نمایندهٔ آرایش الکترونی گاز بی اثر آرگن:
$(Ar: 1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6)$ است که آخرین نمونه عنصر قبل از پتاسیم می باشد.



تغییرات شعاع اتمی و شعاع یونی به ازای عدد اتمی
(طول شعاع با واحد انگستروم (Å) مشخص شده است $1Å = 10^{-8} Cm$)

پروتونها در تغییرات خواص عناصر یک دورهٔ تناوبی بجاست در ابتدا شکل صفحهٔ قبل را که شامل‌عدداتمی ، شعاع‌اتمها همچنین شعاع یونهای عناصر جدول تناوبی است ، ازنظربگذرانیم .

این شکل نشان می‌دهد که در هر دوره از سمت چپ به سمت راست حجم اتمها کاهش می‌یابد اما در هر گروه، از بالا به پایین حجم اتمها افزایش می‌یابد.

بااستفاده از این شکل، برخی ازمشخصات اتم‌فلز سدیم‌راکه درسمت‌چپ‌دورهٔ تناوبی سوم است، بامشخصات‌اتم کلرکه درسمت راست این دوره قراردارد، مقایسه می‌کنیم.

مشخصات‌اتم	اتم سدیم	اتم کلر
تعدادپروتونها	۱۱	۱۷
شعاع اتم	۱/۸۶ A°	۰/۹۹ A°
انرژی‌یونیزاسیون	۱۱۸ KCal	۲۹۷ KCal

بااین مقایسه، آیامی‌توانید چنین فرض کنیدکه هرچه تعدادپروتونها دریک دورهٔ تناوبی افزایش یابد، اثر نیروی جاذبه برالکترونها بیشترشده وازشعاع اتم کاسته می‌شود ؟ همچنین آیا افزایش‌تعدادپروتونهاوکاهش شعاع راعامل مهمی درافزایش انرژی لازم برای جداکردن الکترون از اتم نمی‌دانید ؟

برای امتحان صحت داوری خود از جدول انرژی یونیزاسیون و شکل صفحهٔ قبل استفاده کنید و خانه‌های جدول زیر راپر کنید.

عنصر	Li	Be	B	C	N	O	F
عدداتمی							
شعاع اتمی							
نخستین انرژی یونیزاسیون							

بااین ترتیب برای‌شما محرز می‌شودکه دریک دورهٔ تناوبی، افزایش تعدادپروتونها عامل مهمی درکاهش شعاع اتم وهمچنین افزایش انرژی لازم برای جداشدن الکترونهای سطح خارجی می‌باشد.

می‌دانیدکه‌پس‌ازگذشتن‌ازگازبی‌اثرورسیدن به‌فلز قلیایی دورهٔ بعدی، انرژی یونیزاسیون به شدت سقوط می‌کند. درست است که تعدادپروتونها در این فلز بیش از عناصر دورهٔ قبلی می‌باشد،ولی چون دراینجا سطح انرژی جدیدی آغاز گردیده که فاصلهٔ الکترون خارجی درآن

بیشتراست، ارتباط این الکترون باهسته سست‌تر می‌شود.

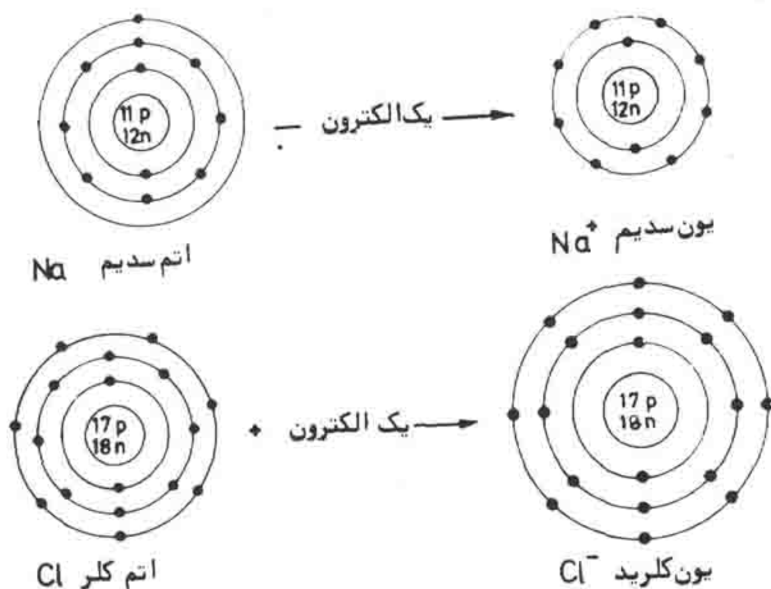
ج ــ تغییرخواص‌فلزی دردوره‌های‌تناوبی ــ می‌توان تغییر تدریجی خواص عناصر یک دورهٔ تناوبی‌را از حالت‌فلزی به حالت غیرفلزی، به کاهش شعاع‌اتمی و افزایش انرژی یونیزاسیون‌نیز ربط داد. می‌دانید که دورهٔ تناوبی سوم با فلز قلیایی سدیم که شعاع اتمی نسبتاً" بزرگی دارد ($r = ۱/۸۶ \mathring{A}$)، آغاز می‌گردد. آمادگی این عنصر برای ازدست دادن الکترون وتبدیل شدن به یون مثبت Na^+ زیاداست وبه همین دلیل می‌گویند که این عنصر خواص فلزی قوی دارد.

به‌یادداریدکه اتم سدیم با ازدست دادن‌یک‌الکترون‌وتشکیل‌یون Na^+ به آرایش الکترونی نئون می‌رسد.

فلزمنیزیم، شعاع‌اتمی‌کمتری‌داردوبرای‌تبدیل‌شدن به‌یون‌مثبت Mg^{2+}نیازبه انرژی بیشتری دارد. می‌دانید که فعالیت منیزیم از سدیم کمتر است. باادامهٔ کاهش شعاع اتمهای عناصر سمت راست، جداکردن الکترونها از سطح خارجی مشکل ترمی‌شود وخواص فلزی کاهش‌می‌یابد.

در عنصر کلر که کمترین شعاع اتمی رادراین دوره دارد($r = ۰/۹۹ \mathring{A}$)، اثر نیروی جاذبهٔهسته‌برالکترونهای سطح خارجی فوق‌العاده زیادبوده وخواص فلزی آن به حداقل‌می‌رسد. درفصل آینده خواهیددیدکه کلروسایر غیر فلزهای سمت راست جدول، کم وبیش میل به جذب الکترون وتشکیل یون منفی دارند.

اتم کلر باگرفتن یک الکترون وتبدیل به یون Cl^-، به آرایش الکترونی پایدار گاز بی‌اثر بعدی (Ar) می‌رسد.



بررسی گروهی عناصر با توجه به ساختمان اتم

الف ــ تغییر در آرایش الکترونی عناصر.

همان طوری که می‌دانید، درجدول تناوبی ۱۸ ستونی، گروه اول سمت چپ مربوط به فلزهای قلیایی است که نمونهٔ آشنای آنها سدیم وپتاسیم می‌باشند. اتمهای این فلزات در خارجی ترین ترازانرژی خود که تراز انرژی s است، یک الکترون دارند.

دومین گروه جدول مربوط به فلزهای قلیایی‌خاکی است که نمونه‌های آشنای آنهامنیزیم و کلسیم می‌باشند. اتمهای این‌گروه نیز درخارجی ترین ترازانرژی خودیعنی ترازانرژی s ، دو الکترون دربردارند.

درگروههای سوم، چهارم، پنجم، ششم، هفتم اصلی به ترتیب عناصر خانواده‌های بور، کربن، نیتروژن، اکسیژن‌وفلوئورقراردارندکه‌درخارجی ترین تراز الکترونی آنها همگی دوالکترون s و به ترتیب ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ الکترون p وجوددارد.

اربیتالهای s و p درگروه‌هشتم‌موسوم به گروه گازهای بی‌اثر تکمیل شده‌اند (به‌جزهلیم کهآخرین‌ترازآن به صورت s^2 پرشده، بقیه به صورت s^2p^6 پرمی‌باشند). بااین ترتیب، گازهای بی‌اثر، عناصر انتهایی هریک ازدوره‌های تناوبی جدول راتشکیل می‌دهند.

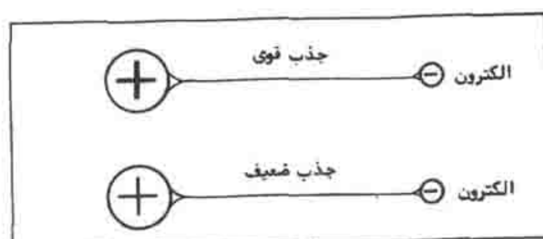
عناصرموجوددرستونهای‌هشت‌گانهٔ فوق‌راگاهی‌گروههای‌هشت گانهٔ عناصرعادی می‌نامند.

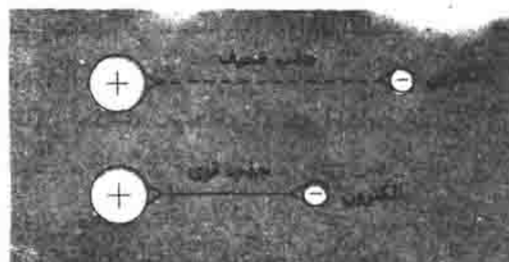
ب ــ تغییر در شعاع اتم و تأثیر آن بر خواص ــ بررسی افقی عناصر در دوره‌های گوناگون جدول چه ازراه تجربی (فصل‌دوم‌کتاب) و چه به روش مطالعهٔ انرژی یونیزاسیون در این فصل، ما را به وجود تغییرات نسبتا" منظمی در خواص عناصر یک یک دوره‌ها رسانید. هرگاه بررسی خودرا درستونهای (گروههای) جدول ادامه دهیم، مجددا"به تغییرات منظمی برخورد میکنیم.

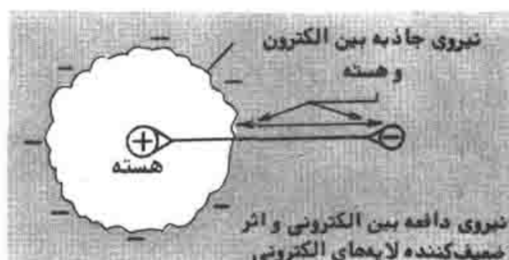
پرسش‌ــ آیاتفاوت خواص عناصر دریک دوره محسوستر است یادریک گروه؟ مثال بیاورید.

باکمک آزمایشهایی که دربارهٔ فلزهای قلیایی، قلیایی خاکی و هالوژنهادرفصل دوم انجام دادید، به‌برخی‌تغییرات‌تدریجی درگروهها پی بردید (برای مثال دانستیدکه فعالیت شیمیایی فلزهای قلیایی از بالا به پایین افزایش می‌یابد وفعالیت شیمیایی هالوژنها ازبالا به پایین کاهش‌می‌یابد). برای توجیه‌تغییرات تدریجی خواص‌عناصر در گروهها، باز هم از تغییرات شعاع اتم آنها کمک می‌گیریم.

همان طوری که درشکل صفحهٔ ۶۶ مشاهده‌کردید، در هرگروه چه درسمت‌چپ وچه‌درسمت راست جدول تناوبی، شعاع اتم کلیهٔ عناصر پایین تر بیش‌از عناصر بالایی است. افزایش تدریجی شعاع عناصر پایین تر امری طبیعی است، زیرا تعداد لایه‌های الکترونی دراتم آنها بیشتراست. بدیهی‌است‌که نیروی دافعه میان این لایه‌های متوالی نیز به افزایش فاصلهٔ آخرین الکترون‌ازهسته کمک می‌کند وسبب می‌شود که انرژی لازم برای جداکردن الکترون کمتر شود. به همین دلیل خواص فلزی درعناصر پایین تر هرگروه‌نمایانتر است.

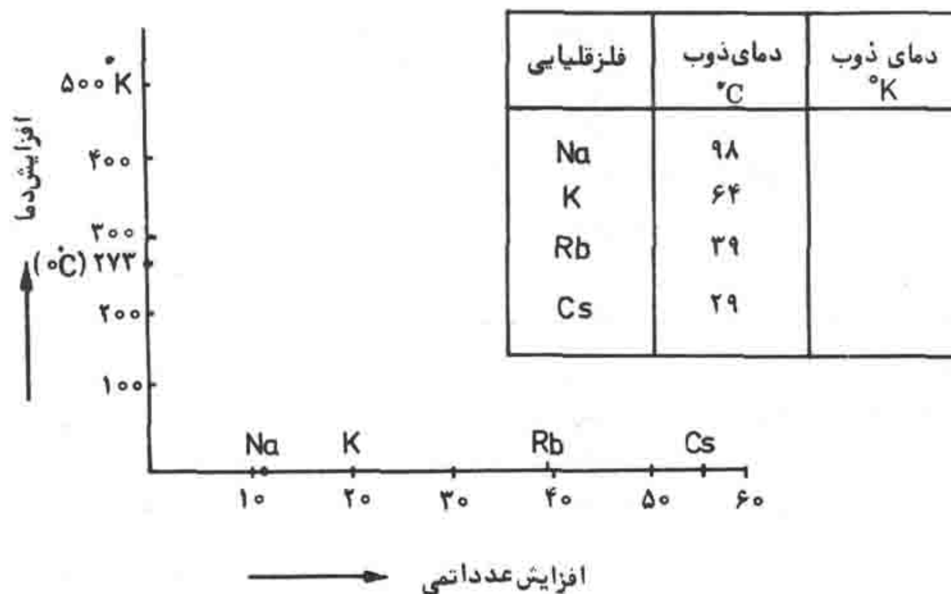




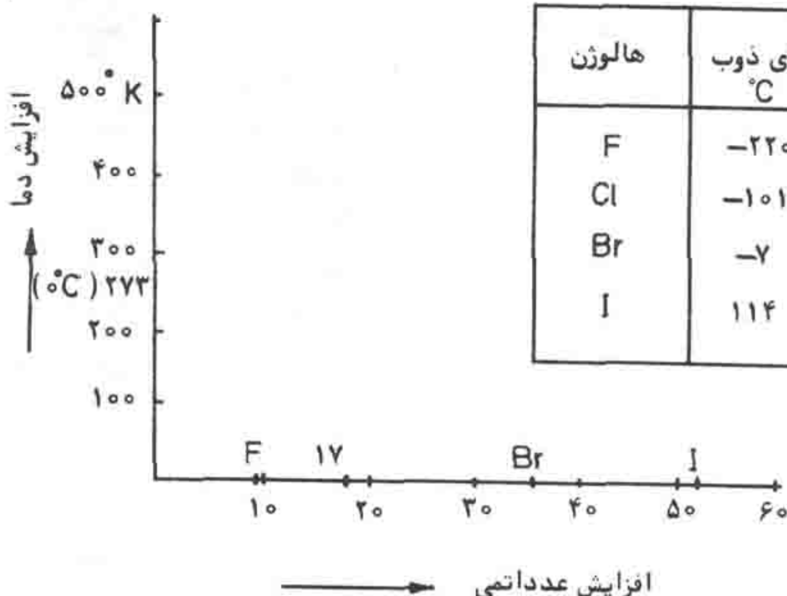


تمرین۱: شکل بالا، مربوط به بررسی عوامل مؤثر بر اثر نیروی جاذبه هسته روی الکترون سطح‌خارجی می‌باشد. باتوجه به اطلاعاتی که تا کنون به دست آورده‌اید، عباراتی برای تفسیر هریک از قسمتهای گوناگون این شکل بنویسید.

تمرین۲: جدول زیروصفحهٔ‌بعد نقطه‌های ذوب فلزهای‌قلیایی و هالوژنهارا نشان‌می‌دهد بااستفاده‌ازداده‌های جدول، نمودارنقطه‌های ذوب‌این‌عناصر رارسم‌کنید، جهت‌به‌دست‌آوردن نمودار مناسبتر و گویاتر، دمای‌ذوب هریک از عناصر را که باواحد سانتیگراد داده شده‌است، به واحد کلوین تبدیل کنید.



فلزقلیایی	دمای‌ذوب °C	دمای ذوب °K
Na	۹۸	
K	۶۴	
Rb	۳۹	
Cs	۲۹	

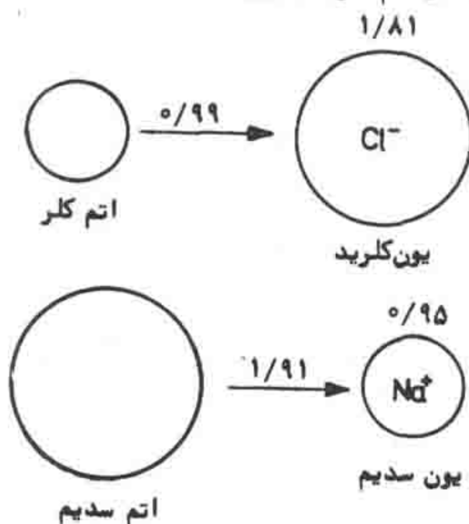


هالوژن	دمای ذوب °C	دمای ذوب °K
F	−۲۲۰	
Cl	−۱۰۱	
Br	−۷	
I	۱۱۴	

چه تفاوتی درتغییرنقطه‌های‌ذوب یک گروه‌فلزی مانند فلزهای قلیایی و یک گروه غیرفلزی مانند هالوژنها به چشم می‌خورد؟

انرژی لازم برای ذوب هرماده به نیروی جاذبه میان ذرات آن (نیروهای پیوندی) مربوط است. درفصل آینده چگونگی پیدایش نیروهای پیوندی وعلت تغییرات آنها را باتفصیل بررسی خواهیدکرد.

تغییر شعاع اتم هنگام تبدیل به یون ـ همان طوری که در جدول شعاع اتمها و یونها (شکل صفحه۶۶) مشاهده‌کردیدودرشکل‌زیر نیز می‌بینیدتبدیل اتم فلزی به یون مثبت همراه باکاهش حجم می‌باشد، ولی‌تبدیل‌اتم غیرفلزی به‌یون‌منفی باعث افزایش حجم می‌گردد. می‌دانید که اتم سدیم (Na) با ازدست دادن الکترون سطح خارجی‌به یون (Na^+) تبدیل‌می‌گردد. این عمل با کاهش کلی ضخامت بارهای الکترونی همراه است. درصورتی که اتم‌کلر یک الکترون می‌گیرد وبه یون منفی(Cl^-)تبدیل می‌گردد. افزایش بار الکترونی دریون کلریدباعث ازدیاد نیروهای دافعه میان لایه‌های الکترونی شده ودرنتیجه برحجم کلی افزوده می‌گردد.



۱۱- هستهٔ اتم

همان‌طوری‌که می‌دانید ذرات‌اصلی سازندهٔ هستهٔ‌اتم پروتونهاونوترونها هستند. تقریبا" تمام جرم‌اتم در هسته‌متمرکز شده است، به‌طوری‌که وزن حجمی آن فوق العاده زیاد می‌باشد[1]

به جز اتم‌ئیدروژن‌معمولی که نوترون ندارد درسایر اتمها، تعداد نوترونهایامساوی‌تعداد پروتونهاویابیش از آنهاست. باافزایش عدداتمی تفاوت میان تعدادپروتونها ونوترونها تدریجاً افزایش‌می‌یابد (دریک اتم سبک مانند منیزیم ($^{24}_{12}Mg$)، تعدادنوترونها برابر پروتونها بوده ولی دریک اتم سنگین مانند اورانیم ($^{238}_{92}U$)، تعداد نوترونها به بیش ازیک برابر ونیم تعداد پروتونها می‌رسد.

عناصری‌که‌تعدادنوترونها درآنها ازیک‌برابرونیم تعدادپروتونهاتجاوز کند، دارای هستهٔ ناپایدارمی‌باشند. معمولا" چنین هسته‌هایی به علت ناپایداری شکسته شده وبه اتمهای سبکتر تبدیل می‌شوند. این نوع عناصر را رادیواکتیو (Radioactive Elements) می‌گویند.

درآزمایشهای رادرفورد تااندازه‌ای‌بااشعهٔ رادیواکتیو آشنا شدید. دراین فصل نیز اثربار مثبت هسته را برحجم اتم وانرژی یونیزاسیون مورد بررسی قراردادید وبه توجیه بسیاری از خواص عناصر دست یافتید. دربرنامهٔ فیزیک سال آینده دانستنیهای بیشتری دربارهٔ هسته، خواص مواد رادیواکتیو واهمیت آنها در زندگی به دست خواهیدآورد.

پرسش و تمرین

۱ـ چند پدیده بیان کنیدکه نشان‌دهندهٔ ماهیت الکتریکی ماده‌باشد.

۲ـ سه نتیجهٔ مهمی راکه از برخورد اشعهٔ آلفا باورقهٔ طلا درآزمایش رادرفورد به‌دست می‌آید، بنویسید.

۳ـ تفاوت میان الکترون، پروتون‌و نوترون را ازنظر جرم نسبی، بارالکتریکی وموقعیت در اتم بیان کنید. تنها اتمی که نوترون نداردچیست؟

۴ـ تفاوت میان عددجرمی وعدداتمی چیست؟

۵ـ وجه تشابه وتفاوت ایزوتوپهای یک عنصردرچیست؟ مثال بزنید.

۶ـ خواص اشعهٔ آلفا، بتاو گامای آزادشده از مواد رادیواکتیو را بایکدیگر مقایسه کنید.

۷ـ بااستفاده از جدول تناوبی، نام‌عنصرهای‌وابسته به آرایشهای الکترونی زیر را مشخص

۱ـ هرگاه به یک سانتیمتر مکعب از هستهٔ اتم دسترسی پیدا کنیم ، جرمی تقریبا" معادل با $2/44 \times 10^{14}$ گرم که برابر با ۲۴۴ میلیون تن! می‌باشد ، به دست می آوریم .

کنید.


$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^1$

$1s^2\ 2s^2\ 2p^5$

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^3$

$1s^2\ 2s^2\ 2p^3$

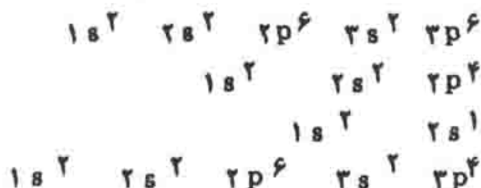
۸ــ انرژی لازم برای تشکیل یون سدیم (Na^+) برابر ۱۱۸ کیلوکالری وبرای تشکیل یون منیزیم (Mg^{1+}) برابر ۱۷۵ کیلوکالری می‌باشد. درصورتی که انرژی موردنیاز برای رسیدن‌به Na^{2+} برابر ۱۰۹۱ کیلو کالری وازآن Mg^{2+}، ۳۴۶ کیلوکالری می‌باشد. باتوجه به این که عدد اتمی سدیم ۱۱ وعدداتمی منیزیم ۱۲ است، علت تفاوت زیاد انرژیهای یونیزاسیون اول ودوم این دوعنصر را توضیح دهید.

۹ــ پنج انرژی یونیزاسیون متوالی عنصر بور به قرارزیراست.

$E_1=۱۹۱$ ، $E_2=۵۷۹$ ، $E_3=۸۷۴$ ، $E_4=۵۹۸۲$ و $E_5=۷۸۴۵$ کیلوکالری

تحقیق نشان‌می‌دهد که با افزایش متوالی انرژی، دیگر الکترونی جدانمی‌شود. آیا بااین **اطلاعات می‌توان به عدد اتمی بور رسید؟ همچنین آیا می‌توان به آرایش الکترونی آن در تراز های انرژی رسید؟**

۱۰ــ با بررسی آرایشهای الکترونی زیر، تعیین کنید که کدام یک از آنها مربوط به عناصر یک گروه ازجدول تناوبی می‌باشد؟


$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$

$1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

$1s^2\ 2s^1$

$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$

۱۱ــ آرایش الکترونی اتم عناصری را که عدداتمی آنها ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱، ۲۵، ۲۹، ۳۳، ۳۶ و ۳۷ است، رسم کنید. با استفاده از جدول تناوبی، نام هریک را کنار آرایش الکترونی مربوط بنویسید. هریک از این عناصر به کدام گروه و دوره تعلق دارند؟

۱۲ــ آرایش الکترونی آخرین سطح انرژی هریک ازنمونه‌های زیر رامشخص کنید.

اتم‌پتاسیم (K)، یون پتاسیم (K^+)، اتم فلوئور F ، یون فلوئورید F ، اتم‌هلیم He ، اتم اکسیژن O ، یون منیزیم Mg^{2+}

۱۳ــ آخرین تراز انرژی اتم یک عنصر $4p^3$ می‌باشد. جای این عنصر درکجای جدول تناوبی است؟

الف‌ــ گروه سوم، تناوب چهارم **ب ــ گروه پنجم، تناوب چهارم**

ج ــ گروه چهارم، تناوب سوم **دــ گروه پنجم، تناوب سوم**

۱۴ــ می‌دانید که هرچه انرژی یونیزاسیون فلزهای قلیایی کمتر باشد، فعالیت شیمیایی

آنها بیشتر است. آیا این قاعده درمورد هالوژنها نیز صدق می‌کند؟

۱۵– چه‌دلیلی برای این‌نکته دارید که‌الکترونهادرساختن کلیهٔ عناصر شرکت می‌کنند؟

۱۶– اگربدانید که جرم یک الکترون $۹/۱۰۹ \times ۱۰^{-۲۸}$ گرم است، تعداد الکترونهای موجود دریک گرم الکترون را حساب کنید. جرم یک مول الکترون چقدر است؟

۱۷– درآزمایشهای شیمیایی، معمولا" لیتیم با ازدست دادن یک الکترون به یون تبدیل می‌شود. درصورتی که فلوئور یک الکترون می‌گیردوبه یون تبدیل می‌گردد. علت تفاوت این دو عنصر را در تشکیل یونها درچه می‌بینید؟

۱۸– چرا انرژی یونیزاسیون فلزها کم وانرژی یونیزاسیون غیر فلزها زیاد می‌باشد؟

۱۹– چرا برای ئیدروژن خانهٔ جداگانه‌ای درجدول تناوبی درنظر گرفته‌اند؟ چرا آن را دربالای عناصر گروه اول قرارداده‌اند؟

۲۰– عنصر واسطه یا انتقالی چیست؟ درچه دوره‌هایی ازجدول تناوبی وجوددارد؟

۲۱– اربیتالهای d، p، s اتم درچه دسته‌هایی از عناصر درحال پرشدن هستند؟

۲۲– چه وابستگی میان شعاع اتمها وعدداتمی آنها دریک خانواده ازعناصر وجوددارد؟

۲۳– چه وابستگی میان شعاع اتمها وعدداتمی آنها دریک دورهٔ تناوبی ازعناصر وجود دارد؟

۲۴– فرض کنید دواتم دراختیار دارید که حجم یکسان‌وعدداتمی متفاوت دارند، چه اختلافی در انرژی یونیزاسیون آنها پیش بینی می‌کنید؟

۲۵– اتمهامعمولا" هنگام ترکیب‌شدن با اتمهای دیگربه‌چه نوع آرایش الکترونی می‌رسند؟ چرا این آرایش از لحاظ شیمیایی پایدار است؟

۲۶– علت را درهریک از موارد زیر بیان کنید.

الف – شعاع اتم باریم بزرگتر از شعاع اتم کلسیم است.

ب – شعاع یون برومید بزرگتر از شعاع یون کلرید است.

ج – شعاع اتم کلسیم کوچکتر از شعاع اتم پتاسیم است.

د – شعاع یون اکسید (O^{2-}) بزرگتر از شعاع اتم اکسیژن (O) است.

هـ – شعاع یون پتاسیم کوچکتر از شعاع اتم پتاسیم است.

۲۷– چگونه می‌توان وجود دو ایزوتوپ را برای یک عنصر ثابت کرد؟

۲۸– دانستن موقعیت یک خانه درجدول تناوبی، چه اطلاعاتی دربارهٔ عنصر مربوط به آن خانه در اختیارشما قرارمی‌دهد؟

۲۹– مفهوم یک دوره و یک گروه در جدول تناوبی چیست؟

۳۰– چه تشابهی درآرایشهای الکترونی عناصری که خواص مشابه دارند، وجوددارد؟

۳۱– چرا باافزایش عدداتمی درهردوره تناوب، خواص فلزی کاهش وخواص غیرفلزی

افزایش می‌یابد؟

۳۲ـ چرا باافزایش عدد اتمی درهرگروه، خواص غیر فلزی‌کاهش‌وخواص فلزی افزایش می‌یابد؟

۳۳ـ فلزهای قلیایی براساس چه خواص مشترکی دریک گروه جامی‌گیرند؟

۳۴ـ عدداتمی عنصری ۳۵ است. آرایش الکترونی آن را در اربیتالهای مربوط بنویسید.

۳۵ـ ساختمان الکترونی اتم عنصر شماره‌ٔ ۳۱ را رسم کنید وفرمول کلریدآن رابنویسید.

فصل ۳

پیوندهای شیمیایی

۱- پیش‌گفتار

آیا تابه حال هیچ وقت شده از خودبپرسید که چرا الماس سخت است وباآن می‌توان شیشه رابرید؟یا چرا شمع نرم است وزود ذوب می‌شود؟ چرا می‌توان فلزات رابه صورت سیم درآورد واز برخی آنها برای انتقال‌دادن جریان برق استفاده کرد؟ وبالاخره چرا موادی مانند شکر ونمک درآب حل می‌شوند ودرنفت نامحلول هستند، درصورتی که موادديگری چون چربی وروغن دربنزین حل می‌شوندو درآب نامحلولند؟

برای پاسخ دادن به چنین پرسشهایی درابتدا باید ازماهیت مواد گوناگون اطلاع داشته باشید. دانستنیهایی که تاکنون دربارهٔ خواص فیزیکی وشیمیایی مواد به دست آوردید، در اغلب موارد، همراه با ذکر علتها نبوده است.برای مثال،شاید تاکنون به این فکر نیفتاده باشید که چرا ترکیبات شیمیایی به وجودمی‌آیند؟

چه نیروهایی باعث می‌شوند که اتمها گردهم آیند ومولکولها رابه وجودآورند؟

چرا مولکول ئیدروژن گازی به صورتH_2است نه H_3 ؟

آیا این نیروهادر مولکولهای گوناگون متفاوت است؟

وبه‌طورکلی چرا درواکنشهای شیمیایی برخی پیوندها شکسته می‌شود وپیوندهای جدید به وجودمی‌آید؟

شیمیدانان نیروهایی که اتمها رادرترکیبهای شیمیایی کناریکدیگر نگاه می‌دارند، عامل وجودپیوندهامی‌دانند. برای شناخت سادهٔ این نیروهاوگوناگونی آنها بجاست که از مثالهای زیر استفاده کنیم:

چنددانه بلور ید را در لولهٔ آزمایش انداختهبه ملایمت حرارت‌می‌دهیم [1]. بخارات بنفش رنگی متصاعد می‌شود که ازمولکولهای دو اتمی I_2 تشکیل یافته‌است. تکراراین آزمایش در دستگاه مناسب برای محاسبهٔ مقدارانرژی مصرف شده، نشان می‌دهد که باصرف ۱۵/۵ کیلو کالری‌انرژی‌می‌توان‌یک مول‌ید (گرم۲۵۴ = ۲×۱۲۷ = I_2) را ازحالت جامد وبلورین به حالت گازی‌درآورد. به عبارت دیگر برای غلبه برنیروهای جاذبهٔ موجود میان مولکولهای I_2 درحالت جامد ورسیدن به مولکولهای I_2 در حالت گازی به‌این مقدارانرژی نیازداریم.

۱- توجه داشته باشید که بخارات یدبسیار سمی است ، از تنفس آن بپرهیزید .

آزمایش‌نشان می‌دهد که‌انرژی‌لازم‌برای گسستن پیوند موجود میان ذرات تشکیل دهندهٔ مواد گوناگون، متفاوت‌است. برای مثال هرگاه گاز آرگن موجود در هوا رابه کمک فشار شدید و سرمای زیاد به حالت مایع سپس جامد درآورند، مشاهده می‌شود که باصرف انرژی بسیار کم (۱/۶ کیلوکالری برمول)، می‌توان بر نیروهای پیوندی میان اتمهای آرگن دربلور جامد غلبه کردو آن را مجددا" به حالت گازی برگرداند. از نظر مقایسه هرگاه، بخواهیم باحرارت دادن فلز تنگستن، آن را به حالت گازی تبدیل کنیم، نیاز به صرف انرژی بسیار زیادی داریم (۲۰۲ کیلو کالری برمول).

باذکر این مثالها به این نتیجه می‌رسیم که نیروهای پیوندی میان اتمهای آرگن جامد بسیار ضعیف ومیان اتمهای فلز تنگستن بسیارقوی است.

دراین‌فصل‌برای شناخت‌انواع پیوندهاوپاسخ دادن به پرسشهای گوناگون، ازدانستنیهای قبلی‌خوددربارهٔ آرایش الکترونی اتمها وخواص تناوبی عناصر استفاده خواهیم کرد. نخستین بررسی خودرا دربارهٔ تشکیل پیوندمیان ساده‌ترین اتمها یعنی اتمهای ئیدروژن آغازمی‌کنیم.

پیوند در مولکول ئیدروژن ـ می‌دانیم که مولکول ئیدروژن درشرایط‌معمولی دو اتمی است .اگر بخواهیم یک مول ئیدروژن را به اتمهای آن تفکیک کنیم ، به انرژی زیادی که برابر ۱۰۴کیلو-کالری است ، نیازداریم .



$$H_۲ + ۱۰۴\ KCal \longrightarrow ۲H$$

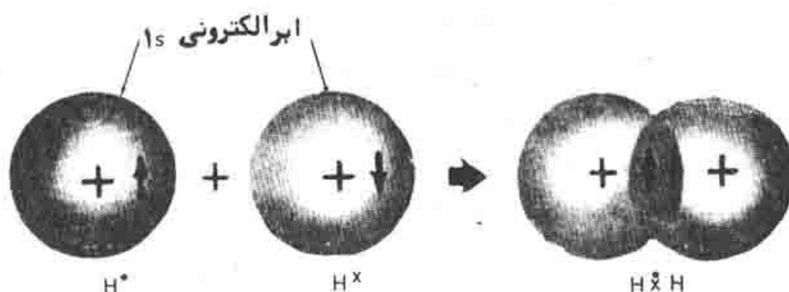
پس می‌توان نتیجه گرفت که ئیدروژن درحالت مولکولی از دواتم ئیدروژن مجزا ازهم، پایدارتراست. حال ببینیم پیوند میان اتمهای ئیدروژن درمولکول H_2 چگونه به وجودمی‌آید وچرا ئیدروژن به صورت اتمی ناپایدارتر است.



برای‌پاسخ دادن به‌این سوءال، دواتم ئیدروژن رامطابق‌شکل‌درنظرمی‌گیریم‌که به یکدیگر نزدیک می‌شوند. دراین حال نیروهای جاذبه ودافعه میان اجزای آنها پدید می‌آید. نیروهای جاذبه میان‌بارهای الکتریکی ناهمانند ونیروهای‌دافعه میان‌بارهای الکتریکی همنّد پیدا می‌شود.چون واقعیت نشان می‌دهدکه این دواتم به یکدیگر نزدیک می‌شوند به طوری که ضمن آزادکردن انرژی‌زیاد، مولکول‌پایدارH_2را پدید می‌آورند، بایدگفت‌که دراینجا برآیندنیروهای‌جاذبه‌بیش‌از نیروهای دافعه می‌باشد.

ترکیب دواتم ئیدروژن بایکدیگر طوری است که ابر الکترونی 1s مربوط به این اتمها کاملا" به هم نزدیک شده و یکدیگر را می‌پوشانند. درنتیجه از همپوشانی این دوابر الکترونی، پیوند تشکیل می‌گردد.

از بررسی نمودار انرژی یونیزاسیون (صفحهٔ ۹۲) به یاددارید که آرایش الکترونی اتم هلیم را پایداردانستیم وبی اثر بودن این گاز را به پربودن اربیتال s آن ربط دادیم. (در

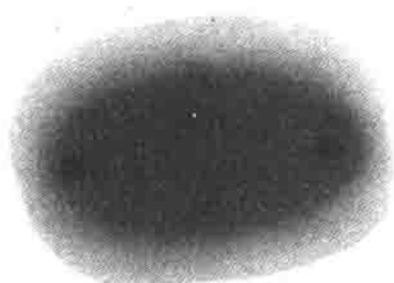


ابر مشترک حاصل از همپوشانی اربیتالهای 1s مربوط به دو اتم ئیدروژن به وسیلهٔ دو هسته جذب شده و باعث پیدایش پیوند در مولکول H_2 می‌شود. فلشها نشان می‌دهند که جهت گردش الکترونهای "جفت‌شده" به دور محور خود، مخالف یکدیگر است.

موردگازهای بی اثر دیگر نیز پربودن اربیتالهای s و p را دلیلی برای پایداری نسبی آنها دانستیم). بااین ترتیب می‌توان گفت که اتمهای ئیدروژن با رسیدن به آرایش الکترونی گاز هلیم به‌وضع بسیار پایدارتری می‌رسند. آزادشدن انرژی هنگام تشکیل مولکول H_2 را نیز دلیلی برپایداری آرایش الکترونی حاصل می‌دانیم.

مقدار انرژی آزادشده هنگام ترکیب اتمهای ئیدروژن وتشکیل مولکول پایدارتر H_2 برابر ۱۰۴ کیلو کالری برمول می‌باشد. می‌دانید که همین مقدار انرژی نیز مصرف می‌شود تا پیوند میان اتمهای ئیدروژن درمولکول H_2 بشکنند.

باتوجه به شکل علت پایداربودن مولکول ئیدروژن نسبت به اتمهای آن چنین توجیه می‌شود که در مولکول ئیدروژن، الکترون تحت تأثیر جاذبهٔ دو هسته قرار می‌گیرد وبه همین علت پایدارتر ازحالتی است که به وسیلهٔ یک هسته جذب شود.



تشکیل یافتن پیوند میان اتمهای ئیدروژن با تراکم زیاد ابر الکترونی مشترک میان دو هستهٔ آنها همراه است.

پیوندی را که از اشتراک الکترونهای دو اتم به‌وجود می‌آید پیوند کووالانسی می‌نامند.

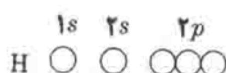
هنگام اشتراک‌الکترونها وتشکیل این‌نوع پیوند، انرژی آزاد می‌شود.

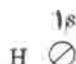
با آگاهی‌ازچگونگی پیدایش پیوند کووالانسی درمولکول ئیدروژن، می‌توان به سؤالی که در ابتدای این فصل مطرح شد پاسخ داد. علت این که مولکول ئیدروژن دو اتمی است و نمی‌تواند به صورت H_3 یا H_4 باشد آن است که هراتم ئیدروژن یک الکترون‌در اربیتال 1s دارد وچون هراربیتال گنجایش بیش از دوالکترون ندارد، بنابراین ترکیب بیش از دو اتم ئیدروژن بایکدیگر امکان پذیر نیست.

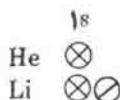
پرسش: درفصل دوم دیدید که مولکول هلیم یک اتمی است. حال باتوجه به این‌که اتم هلیم در اربیتال 1s خود دو الکترون دارد، علت یک اتمی بودن آن را بیان کنید. چرا مولکول He_2 از نزدیک شدن دو اتم هلیم به وجود نمی‌آید؟

۲ـ نمایش پیوندهای شیمیایی

برای آسانی، می‌توان مطابق شکل اربیتالهای اتم یک عنصر را به صورت دایره‌هایی نشان داد. برای صرفه جویی درجای‌شکل، دایره‌ها را در امتداد افقی رسم می‌کنیم و تفاوت تراز انرژی اربیتالها را نیز با درنظر گرفتن فاصلهٔ بین دایره ها نشان می‌دهیم. حضور هریک از الکترونها رادراربیتال، ازراه ترسیم یک خط مورب درون دایرهٔ مربوط به‌آن، نشان می‌دهیم. برای مثال آرایش الکترونی اتمهای ئیدروژن، هلیم ولیتیم مطابق شکل مقابل نمایش داده می‌شود.

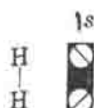




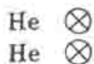


می‌توان پیوندهای شیمیایی را به صورتهای گوناگون زیر نمایش داد:

الف ـ نمایش اربیتالی پیوند ـ شکل مقابل تشکیل پیوند در ئیدروژن وعدم تشکیل آن را درهلیم مطابق روش نمایش اربیتالی نشان می‌دهد.



پیوندتشکیل می‌گردد



پیوندتشکیل نمی‌گردد

ب ـ نمایش نقطه‌ای پیوند ـ دراین مورد می‌توان الکترونهای شرکت کننده در پیوند را به صورت نقطه‌هایی نمایش داد. دو نقطهٔ بین دو اتم نمایش یک جفت الکترون مشترک است.



ج ـ نمایش خطی پیوند ـ شیمیدانان اغلب برای نمایش دادن پیوند از خط کوتاه استفاده می‌کنند. این نوع نمایش پیوندقبل از آن که نقش الکترونها در پیوند شناخته شود، معمول بود. شما نیز درسال گذشته از آن استفاده کردید. چون نمایش پیوند به وسیلهٔ خط تا اندازه ای با تئوریهای جدید پیوند مطابقت دارد، از این رو اکنون نیز از آن استفاده می شود. هر جفت الکترون کووالانسی به وسیلهٔ یک خط نمایش داده می شود.

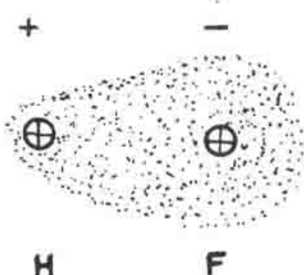
این نوع نمایش پیوند را نیز فرمول گسترده یاساختمانی می‌نامند.



۳- پیوندهای قطبی وغیر قطبی

در مولکول ئیدروژن دیده شد که ابر الکترون به طور یکنواختی میان دوهسته قرارگرفته است. علت آن است که چون دوهسته یکسان هستند، مقدار متوسط جاذبهٔ آنها برای الکترون باهم برابراست.

هرگاه‌تراکم‌الکترون درمولکول ئیدروژن به طوریکنواخت انجام نمی‌گرفت، انتظار می‌رفت که‌قطبهای‌مثبت‌ومنفی‌الکتریکی‌در دوسرپیونددراین مولکول ظاهر شود، درصورتی‌که آزمایشهای الکتریکی وجودچنین قطبهایی رانشان نمی‌دهد. این نوع پیوندرا پیوندغیرقطبی می‌نامند.



حال‌مولکولهای‌مادهٔ دیگری چون فلوئورید ئیدروژن (HF) را مورد مطالعه قرارمی‌دهیم. اندازه‌گیریهای‌الکتریکی نشان می‌دهد که مولکول HF یک سر مثبت ویک سر منفی دارد.

پس‌می‌توان‌پنداشت‌که تراکم ابر الکترونی درپیوند HF دریک طرف‌بیشتر ودر طرف دیگر کمتر است.

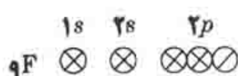
آزمایشهای الکتریکی می‌رساند که (F) سر منفی‌مولکول‌و (H) سرمثبت‌آن‌را تشکیل‌می‌دهد.

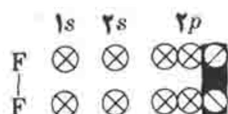
چنین پیوندی که ابر الکترونی آن به صورت‌نامتقارن قرار گرفته و در نتیجه دو قطب مثبت و منفی در دو سر آن به وجودمی‌آید، پیوند قطبی (دوقطبی) نامیده می‌شود.

۴- قابلیت تشکیل پیوند کووالانسی برای عناصر ردیف دوم جدول تناوبی

برای عناصر ردیف دوم جدول تناوبی به جز نئون، ترکیبات گوناگونی‌شناخته شده‌است، مثلاً ازاتحاد این عناصر با فلوئور می‌توان نمونه‌های $BeF_2, BF_3, CF_4, NF_3, OF_2, F_2$ و LiF‌راذکرکرد. دراینجا باتوجه به آرایشهای الکترونی عناصر این ردیف، قابلیت تشکیل پیوند را در هرمورد بررسی می‌کنیم.

پیوندبافلوئور- آرایش‌الکترونی فلوئور به صورت $1s^۲\,۲s^۲\,۲p^۵$ است که آن را مطابق شکل مقابل نمایش می‌دهیم. این شکل نشان می‌دهدکه فلوئور فقط یک اربیتال نیمه پر داردکه آن را درتشکیل یک پیوند کووالانسی با اتم دیگری مانند فلوئور در اشتراک می‌گذارد و بدین وسیله مولکول $F_۲$ را پدیدمی‌آورد.





هریک‌ازاتمهای فلوئور پس ازتشکیل پیوند و ایجاد مولکول $F_۲$،درسطحی ترین لایهٔ خود

مانندنئون،آرایش هشت الکترونی پیدامی‌کنند. دراین عمل ۳۶ کیلوکالری برمول انرژی آزاد می‌گردد. بنابراین‌یک بار دیگر آزادشدن انرژی ورسیدن به آرایش‌الکترونی گاز بی‌اثر رامشاهده می‌کنیم. به طورکلی می‌توان گفت که آزادشدن انرژی ورسیدن به آرایش الکترونی گاز بی‌اثر، توجیه مهمی برای تشکیل پیوند به شمار می‌رود.

مقدار انرژی آزادشده هنگام تشکیل هرپیوند را انرژی‌آن پیوندمی نامند .

انرژی پیوند $H-H$ برابر ۱۰۴ کیلوکالری بر مول و از آن $F-F$ ، ۳۶ کیلوکالری بر مول است .

همان طوری که آرایش الکترونی فلوئورنشان‌می‌دهد، دراین اتم فقط یک اربیتال نیمه‌پر وجوددارد که هنگام تشکیل مولکول F_2 آن را بااربیتال نیمه پر اتم دیگری به اشتراک می‌گذارد وپیوند کووالانسی به‌وجودمی‌آورد.

پس‌ازتشکیل‌این پیوند، دیگر اربیتال نیمه‌پری برای فلوئور باقی‌نمی‌ماند ودرنتیجه‌امکان تشکیل پیوند دیگری وجود ندارد. به همین دلیل مولکولهای F_3, F_4 و . . . . پدید نمی‌آید.

فلوئوروعناصردیگری‌که‌مانند آن، هنگام تشکیل پیوند فقط‌ازیک اربیتال نیمه پر استفاده می‌کنند، اصطلاحا" عناصری با کووالانس یک نامیده می‌شوند.

نمایش نقطه‌ای مولکول F_2 ـ آرایش نقطه‌ای پیوند فقط شامل الکترونهای سطح انرژی خارجی اتم است. (معمولا" این الکترونها را الکترونهای ظرفیتی[1] می‌نامند و اربیتالهـای مربوط به‌آنها را اربیتالهای‌ظرفیتی می‌گویند). تعداداین الکترونها درموردفلوئور ۷می‌باشد[2] بنابراین‌نمایش‌نقطه‌ای‌پیوند $F-F$ مطابق‌شکل‌مقابل‌خواهد بود. این‌شکل‌امکان برقراری یک پیوند کووالانسی رامیان اتمهای فلوئورنشان‌می‌دهد. اضافه‌براین، شمارش‌ساده‌ٔ تعدادالکترونهای هریک از اتمها نشان می‌دهد که اربیتالهای ظرفیتی‌فلوئور پر است. برای‌مثال‌برای اتم فلوئور سمت چپ می‌توان هشت الکترون در خارجی ترین سطح انرژی درنظر گرفت که ۶ الکترون آن کاملا" به آن وابسته و دو الکترون‌دیگر به‌صورت مشترک با اتم سمت راست می‌باشد.

$$:\ddot{F}\cdot + \cdot\ddot{F}: \longrightarrow :\ddot{F}:\ddot{F}:$$



اتم فلوئور سمت راست ۸ الکترون در خارجی‌ترین سطح انرژی خود دارد

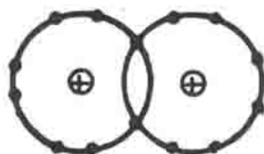
اتم فلوئور سمت چپ ۸ الکترون در خارجی‌ترین سطح انرژی خود دارد

۱ــ معمولا" یک یاچند الکترون از الکترونهای ظرفیتی یک اتم ، درتشکیل‌پیوندبااتمها ی دیگر شرکت می کنند .

۲ــ جفت الکترون اربیتال سطح انرژی زیرین ، 1s ، دراتم‌فلوئور رابه‌حساب نیاورده ایم ، زیرا پیوستگی آنها به هسته فوق العاده زیادبوده و نقشی در تشکیل پیوند ندارد .

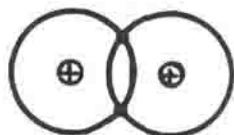
مطابق شکل صفحه قبل ، چون حداکثر گنجایش اربیتالهای ظرفیتی ۲s و ۲p هشت الکترون است ، هریک از اتمهای فلوئور به آرایش پایدار گاز بی‌اثر (نئون) رسیده است .

هـ- بررسی پیوند کووالانسی از دیدگاه مدل اتمی بوهر



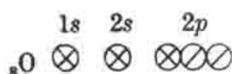
هرگاه درنظرداشته باشیم که آرایش الکترونهای سطح خارجی را در مولکول فلوئور مطابق مدل سیاره‌ای بوهر به طور ساده نشان دهیم، شکل مقابل را رسم می‌کنیم. چون مدل اتمی بوهر مسیر ومداری برای الکترونها مطرح می‌کند، این سوءال پیش می‌آید که مسیر جفت الکترون مشترک چگونه است ؟

پاسخ دادن به چنین سوءالی به‌وسیلهٔ این مدل ممکن نیست. هرگاه به جای مدل بوهر ازمدل اربیتالی استفاده کنیم، می‌توانیم بدون‌آن که مسئلهٔ مسیر الکترون را مطرح کنیم، فقط احتمال حضوردوالکترون مشترک را درفضای موجود میان دوهسته مورد توجه قراردهیم.

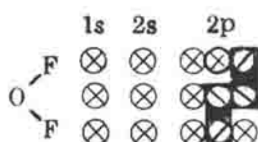


درموردمولکول کووالانسی گاز ئیدروژن نیزهرگاه مدل اتمی بوهر را مطابق شکل روبه رو درنظر بگیریم، همین اشکال پیش می‌آید. به همین دلیل مسئله احتمال حضوردوالکترون مشترک درفضای موجود میان دوهسته مطابق شکل صفحهٔ ۱۰۶ مطرح شد .

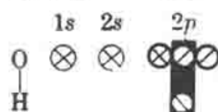
پیوند با اکسیژن ــ آرایش الکترونی اکسیژن بـــه صورت: $1s^22s^22p^4$ است. قبلاً"گفتیم که در سه اربیتال p ،الکترونها ابتدا بصورتی توزیع می‌شوند که در هر اربیتال p یک الکترون قرار می‌گیردو پس از کسب این‌آرایش‌الکترونی نیمه پر است که جفت شدن الکترونها صورت می‌گیرد. با این ترتیب آرایش الکترونی‌اکسیژن را مطابق شکل رو به رو نمایش می‌دهیم.



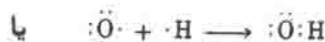
نمـــایش نقطــه‌ای آن را نیز می‌توان به‌صورت $:\!\dot{O}\cdot$ نشان داد. به‌طوری که دیده می‌شود، اکسیژن دو اربیتال نیمه پر pدارد. به یاد دارید که فلوئور دارای کووالانس یک است. پس برای ترکیب با اکسیژن لازم است که دو اتم فلوئور بایک اتم اکسیژن ترکیب شود، ومولکول OF_2 را به‌وجود آورند.دراین ترکیب‌اکسیژن کووالانس۲ دارد، (۲ظرفیتی‌است) و بادراشتراک گذاشتن دوالکترون‌جفت نشدهٔ خود بادو اتم فلوئور به آرایش هشت الکترونی گاز بی‌اثر نئون رسیده‌است.



مثالی دیگر برای بررسی تشکیل پیوند با اکسیژن ــ الف ــ پیوند درآب ــ فرض کنید یک اتم ئیدروژن تامرحلهٔ پیدایش پایدارترین وضع ممکن به اتم اکسیژن نزدیک شود. هریک ازاین دواتم اربیتال نیمه پر دارندو همپوشانی این اربیتالها واشتراک الکترونها امکان پذیر است.



الکترونهای مشترک میان دو هسته قرار می‌گیرندوباعث پیدایش پیوند پایدارمی‌گردند. پیدایش‌این پیوند را به وسیلهٔ شکل مقابل‌نمایش می‌دهیم.

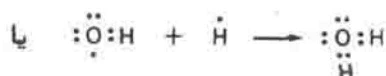
یا 

$$:\ddot{O}\cdot + \cdot H \longrightarrow :\ddot{O}:H$$

هردونمایش پیوند دراین شکل نشان می‌دهد که اتم اکسیژن درOH گنجایش یک الکترون دیگردارد. همان‌طوری که درشکل مربوط به نمایش اربیتالی می‌بینید، سومین اربیتال ۲p دارای یک الکترون است، درصورتی که گنجایش ۲ الکترون را دارد. این مطلب نشانه‌ای ازآمادگی OH برای تشکیل پیوند دیگری می‌باشند. نمایش نقطه‌ای نیز وجود هفت الکترون را در اطراف اتم اکسیژن نشان می‌دهد. چنین اتمی باگرفتن یک الکترون دیگر به وضع پایدارتری می‌رسد.

هردو نمایش پیوند درشکل نشان می‌دهد که OH آمادهٔ ترکیب‌شدن بایک‌اتم دیگرئیدروژن می‌باشد. اتمها در مولکول H_2O حاصل،آرایش الکترونی گاز بی اثر را پیدا می‌کنند وبه حالت پایدارمی‌رسند. علت پایداری آب رانیزمی‌توان به‌همین دلیل توجیه‌کرد.



یا 

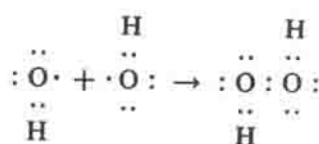
$$:\ddot{O}:H + \dot{H} \longrightarrow :\ddot{O}:H$$

چون اتم اکسیژن درتشکیل مولکول آب، دواربیتال تک الکترونی خودرا در تشکیل‌پیوند شرکت داده وبه آرایش الکترونی پایدار رسیده است، آن را دوظرفیتی می‌گویند.

ب ــ پیوند درپر اکسیدئیدروژن (آب‌اکسیژنه) ــ شرح قبلی نشان‌دادکه OH جزء فعالی است وآمادگی ترکیب بامواد مناسب را دارد. نمایش نقطه‌ای مربوط به OH واتم F ، وجودتشابهی را میان‌آرایش الکترونی این دو می‌رساند. چون دو اتم فلوئور با یکدیگر ترکیب می‌شوندو پیوند کووالانسی پدیدمی‌آورند، پیش بینی می‌شود که دوجزءOH نیزهمین وضع راداشته باشند. این واکنش‌منجر به تولید H_2O_2 می‌شود. این ماده‌را پر اکسید ئیدروژن می‌نامندکه در داروخانه‌ها و تجارت به‌نام آب اکسیژنه به فروش می‌رسد و برای ضد عفونی کردن زخمها ورنگبری به کار

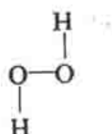


$$:\ddot{F}: \qquad :\ddot{O}:H$$



می‌رود.

باتوجه‌به شرایط پیوند شیمیایی درپراکسید ئیدروژن، فرمول ساختمانی آن رامطابق‌شکل‌مقابل می‌نویسند. این فرمول علاوه‌بر‌پیوندهای OH، وجودیک پیوندO—Oرا نیزمی‌رساند.



شکل‌مقابل‌مدلی‌برای ساختمان مولکولهای آب وپراکسید ئیدروژن را نشان‌می‌دهد.





ج— پیونددرمولکول اکسیژن— با توجه به آرایش‌الکترونی‌اتم اکسیژن، می‌توان پیوندمیان دواتم‌آن‌رامطابق‌شکل زیر نشان داد. دواربیتال تک‌الکترونیp در هریک از اتمهای اکسیژن وجود دارد. همپوشانی ابرهای الکترونی میان دواتم، پیوند درمولکول O_2 رابه‌وجودمی‌آورد. فرمول نقطه‌ای‌وفرمول ساختمانی مولکول اکسیژن نیزدر شکل دیده می‌شود.

	1s	2s	2p
O	⊗	⊗	⊗ ⊘ ⊘
O	⊗	⊗	⊗ ⊘ ⊘

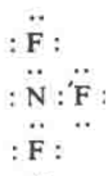
فرمول‌نقطه‌ای O::O

فرمول‌ساختمانی O=O

پیوندبانیتروژن— آرایش‌الکترونی‌نیتروژن بامطالب‌گفته‌شدهٔ قبلی‌درمورد توزیع الکترونها درسه اربیتال p ، مطابق شکل می‌باشد. نمایش نقطه‌ای نیز به صورت :Ṅ. است.

$_7N$ 1s ⊗ 2s ⊗ 2p ⊘⊘⊘

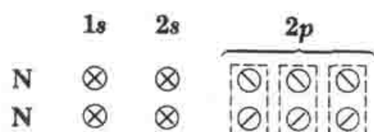
نیتروژن‌سه‌الکترون‌جفت‌نشده(منفرد) دارد ودرمولکولی‌مانندNF_3، این سه الکترون رابا سه اتم فلوئور در اشتراک می‌گذارد. برای آسانی بیان‌می‌توان از نمایش نقطه‌ای برای‌نشان‌دادن مادهٔ حاصل استفاده کرد. این ماده را تری — فلوئوریدنیتروژن می‌نامند. نیتروژن در مولکول NF_3 ، هشت الکترون در اربیتالهای ۲s و ۲p خود پیدا می‌کند.



پرسش— اتمهای‌ئیدروژن‌نیز بااتم‌نیتروژن ترکیب شده‌و ماده‌ای به‌نام گازآمونیاک پدید می‌آورند.

باتوجه به این که اتم ئیدروژن نیز یک الکترون دراربیتال 1s دارد، نمایش نقطه‌ای پیوند حاصل وفرمول ساختمانی امونیاک را رسم کنید.

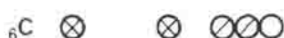
مثال دیگر برای پیوند بانیتروژن: پیوند درمولکول نیتروژن ــ پیوندمیان دو اتم نیتروژن که هریک سه اربیتال نیمه پر pدارد مطابق شکل روبه‌رو انجام می‌گیرد. فرمول نقطه‌ای و فرمول ساختمانی N_2 نیز در شکل دیده می‌شود.



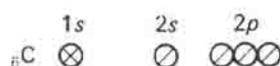
فرمول نقطه‌ای :N⋮⋮N:

فرمول ساختمانی N≡N

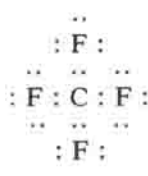
پیوندباکربن ــ می‌دانیدکه آرایش الکترونی کربن مطابق شکل رو به رو است.



باتوجه به این آرایش الکترونی، کربن فقط دو اربیتال نیمه‌پر داردوانتظار داریم که هنگام واکنش با فلوئور CF_2 تولید کند ولی درعمل می‌بینیم که فرمول مادهٔ حاصل CF_4 (تترافلوئوریدکربن) است. درمولکول CF_4 چهارپیوند کربن ــ فلوئور وجوددارد. تشکیل چهار پیوند کووالانسی به وسیلهٔ کربن درصورتی امکان‌پذیر است که برای آن چهاراربیتال نیمه پر درنظر بگیریم. رسیدن به چنین وضعی فقط از راه ارتقای یک الکترون از اربیتال جفت الکترونی 2s به اربیتال خالی 2p امکان پذیر است واین عمل درنتیجهٔ تحریک اتم کربن حاصل می‌شود.

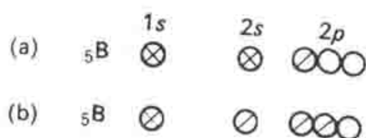


ارتقای الکترون مستلزم صرف انرژی است، زیرااربیتال 2p نسبت به اربیتال 2s درسطح انرژی بالاتری قراردارد. این انرژی هنگام ترکیب کربن با فلوئور وتشکیل چهار پیوند کربن ــ فلوئور تأمین می‌گردد. وقتی کربن چهار اربیتال نیمه‌پر پیدا می‌کند، می‌تواند با اربیتالهای نیمه پر pمربوط به چهار اتم فلوئور همپوشانی حاصل کند. درترکیب حاصل کربن ۴ ظرفیتی است و کووالانس چهار دارد. آرایش الکترونی کربن در این مورد به گاز نئون می‌رسد.



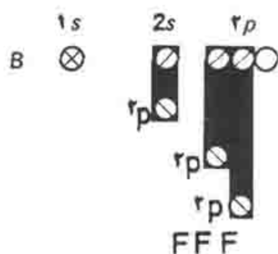
پرسش ــ باتوجه به مسئلهٔ ارتقای الکترون درکربن، آرایش الکترونی کربن را پیش از ارتقا وبعداز آن رسم کنید. همچنین نمایش نقطه‌ای مولکول حاصل ازواکنش یک اتم کربن را با اتمهای ئیدروژن بکشید. فرمول ساختمانی این مولکول به چه صورتی نشان داده می‌شود؟

پیوند با بور ــ آرایش الکترونی بور مطابق شکل زیر است. این شکل نشان می‌دهد که اتم



بور فقط یک اربیتال نیمه پر دارد. ازترکیب بور بافلوئور، مولکول BF_3 به وجودمی‌آید که آن را تری فلوئورید بورمی‌نامند. دراین‌مولکول، اتم بور بایستی ازسه اربیتال‌نیمه‌پراستفاده‌کرده‌باشد.

برای توجیه این مطلب مجددا" مسئلهٔ ارتقای الکترون رامطرح‌می‌کنیم ومی‌گوییم که به‌هنگام تشکیل این ترکیب، یک الکترون از الکترونهای جفت شده دراربیتال ۲s به یک اربیتال خالی ۲p انتقال یافته است.



$$\begin{array}{c} :\ddot{F}: \\ \ddot{B}:\ddot{F}: \\ :\ddot{F}: \end{array}$$

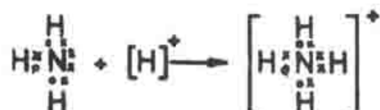
اتم‌بوربادراشتراک گذاشتن‌این‌سه‌الکترون جفت‌نشده (الکترونهای‌منفرد)، با اتمهای‌فلوئور مولکولBF_3رابه‌وجود می‌آورد که‌نمایش اربیتالی ونقطه‌ای آن‌مطابق‌شکل‌مقابل‌است. دراین‌شکل، از اتمهای فلوئورفقط اربیتال تک‌الکترونی ۲pنشان داده شده‌است‌بدیهی‌است که بور در مولکول BF_3 دارای کووالانس سه است.

پیوند داتیو (کووالانس کوئوردیناسی) — درمولکول BF_3 اتم بور در سطح خارجی (لایهٔ n =۲) شش الکترون پیدا کرده است و برای رسیدن به آرایش الکترونی گاز بی‌اثر نئون دو الکترون دیگرلازم‌دارد. از طرف‌دیگر، اتم‌بورهنوز دارای‌یک اربیتال خالی ۲p است و می‌تواند از این اربیتال برای پذیرش دو الکترون دیگر استفاده کند. وقتیBF_3را با امونیاک (NH_3) که هر دو در شرایط عادی فشار و دما گازی‌شکل هستندمجاور کنیم، مادهٔ جامد سفیدرنگی حاصل می‌شود که نتیجهٔ ترکیب یک مولکولNH_3 و یک مولکولBF_3می‌باشد. واکنش این دو مولکول‌را می‌توان چنین نشان داد.



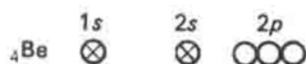
در مولکول‌امونیاک، اتم نیتروژن دارای‌یک جفت الکترون است که در تشکیل پیوندشرکت نکرده‌است. این‌جفت‌الکترون می‌تواند دراختیاراتم بور که به آن نیاز دارد، قرارگیرد. این نوع پیوند را که جفت الکترون مشترک‌بین دو اتم فقط‌ازسوی یکی از اتمها تأمین شده است، یا به عبارت دیگریک اتم دهندهٔ‌الکترون و دیگری پذیرندهٔ الکترون است، پیوند کووالانسی یک‌طرفه یا پیوند داتیو(Dative) می‌نامند. بدیهی است که اتم بور در این مورد نیز مانند نیتروژن آرایش هشت الکترونی پیدا می‌کند.

مثال دیگر پیوند داتیو را دریون امونیم NH_4^+می‌توان دید.



$[H]^+$ علامت ئیدروژنی است که الکترون خودرا ازدست داده ودرنتیجه دارای اربیتال 1s خالی گردیده است و به همین علت آمادگی پذیرفتن جفت الکترون نیتروژن وپرکردن اربیتال خودرا دارد.

پیوند با بریلیم ــ آرایش الکترونی بریلیم چنین است:



از ترکیب بریلیم با فلوئور ماده‌ای به نام دی‌فلوئورید بریلیم به‌دست می‌آید که در شرایط عادی به‌صورت جامد است. در $1200°C$ این ماده به صورت مولکولهای ساده گازی‌شکل BeF_2 درمی‌آیدکه بریلیم درآن کووالانسٔ ۲ دارد. برای رسیدن به این کووالانس لازم است ابتدا یکی از الکترونهای 2s دربریلیم به اربیتال 2p ارتقایابدوسپس با اشتراک گذاشتن این ۲ الکترون منفرد بادواتم فلوئور، مولکول BeF_2 راپدیدآورد.



پیوند بالیتیم ــ درلیتیم آرایش الکترونی چنین است:



فلوئور بالیتیم ترکیب‌شده وتولید فلوئوریدلیتیم می‌نماید.

اندازه گیریهای الکتریکی نشان می‌دهدکه پیوند بین فلوئور ولیتیم به شدت‌قطبی‌است.

۶ـ تغییر نوع پیوند در فلوئوریدهای عناصر ردیف دوم

می‌دانیم که هرچه نیروهای جاذبه بین مولکولی درماده‌ای کمتر باشد، این‌ماده به حالت گازی نزدیکتر می‌شود وبرای ذوب وتبخیرآن انرژی کمتری لازم است. بنابراین می‌توان گفت‌که هرچه نقطهٔ ذوب یک‌ماده پایین تر باشد، نیروی جاذبه میان‌مولکولهای آن کمتر می‌باشد.

جدول زیر حالت فیزیکی، نقطهٔ ذوب ونقطهٔ جوش فلوئوریدهای عناصر ردیف دوم را نشان می‌دهد.

فرمول‌ماده	F_2	OF_2	NF_3	CF_4	BF_3	BeF_2	LiF
حالت‌فیزیکی (شرایط معمولی)	گاز	گاز	گاز	گاز	گاز	جامد	جامد
نقطهٔ ذوب °C	۲۲۰−	۲۲۴−	۲۰۸/۵−	۱۸۴−	۱۲۹−	۸۰۳*	۸۴۵
نقطهٔ جوش °C	۱۸۸−	۱۴۵−	۱۲۹−	۱۸۲−	۹۹−	۸۰۳	۱۶۸۱

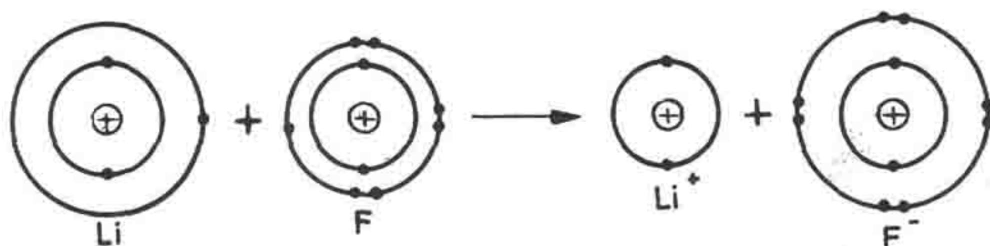
* مستقیماً تصعید می‌شود.

پایین‌بودن‌نقاط ذوب وجوش‌مواد سمت‌راست درجدول نشانهٔ ضعیف‌بودن نیروهای‌جاذبهٔ میان مولکولهای آنهاست. به عبارت دیگر می‌توان گفت که خواص قطبی‌دراین مواد خیلی کم است. حالت جامد BeF_2 و LiF وبالا بودن نقطهٔ ذوب وجوش آنها نشانه‌ای از وجودنیروهای الکتریکی قوی دراین موادمی‌باشد.

پیوند F — F درسمت‌راست جدول نمونه‌ای‌است از پیوند کووالانسی غیر قطبی وپیونددر LiF که درسمت چپ جدول است، نمونه‌ای از پیوند قطبی شدید می‌باشد.

درمورد LiF می‌توان‌گفت‌که‌الکترون‌سطح‌خارجی (2s) لیتیم تقریبا" به‌طورکامل به‌وسیلهٔ فلوئور جذب شده ودرنتیجه لیتیم به صورت یون‌مثبت Li^+ وفلوئور به صورت یون منفی F^- درآمده‌اند. مقداربسیارکم انرژی یونیزاسیون لیتیم (کیلوکالری‌برمول ۱۲۵ = E_1)، آمادگی این عنصر را برای ازدست دادن سطحی‌ترین الکترون‌خودوتبدیل شدن به یون مثبت تأیید می‌کند. مقدار بسیارزیادانرژی‌یونیزاسیون فلوئور (کیلوکالری‌برمول ۴۰۱ = E_1) رانیز می‌توان نشانه‌ای ازتمایل زیاد این عنصربرای‌جذب‌ونگهداری الکترون‌دانست. بااین شواهد می‌توان علت انتقال کامل الکترون را ازلیتیم به فلوئور توجیه‌کرد.

پیوندی‌راکه‌درنتیجهٔ انتقال کامل‌الکترون ازعنصری به عنصر دیگر به‌وجود می‌آید، پیوند الکترووالانسی یا یونی می‌نامند. معمولا" درنتیجهٔ تشکیل چنین پیوندی نیز عنصرها آرایش الکترونی گاز بی‌اثر را پیدامی‌کنند. مثلا" درترکیب یونی فلوئوریدلیتیم، اتم لیتیم باازدست دادن یک‌الکترون به‌آرایش الکترونی پایدار He وفلوئورباگرفتن یک الکترون به آرایش الکترونی پایدار Ne می‌رسند.



۷ـ الکترونگاتیوی عناصر

چنان که دیدیم پیوند F—F کاملا خصلت کووالانسی وپیوند LiF خصلت یونی‌دارد و پیوند در فلوئوریدهایی که بین این دو قرار می‌گیرند به میزان متفاوتی قطبی است . جدول صفحهٔ بعد مشخصات فیزیکی کلریدهای عناصر ردیف سوم جدول تناوبی را نشان می‌دهد.

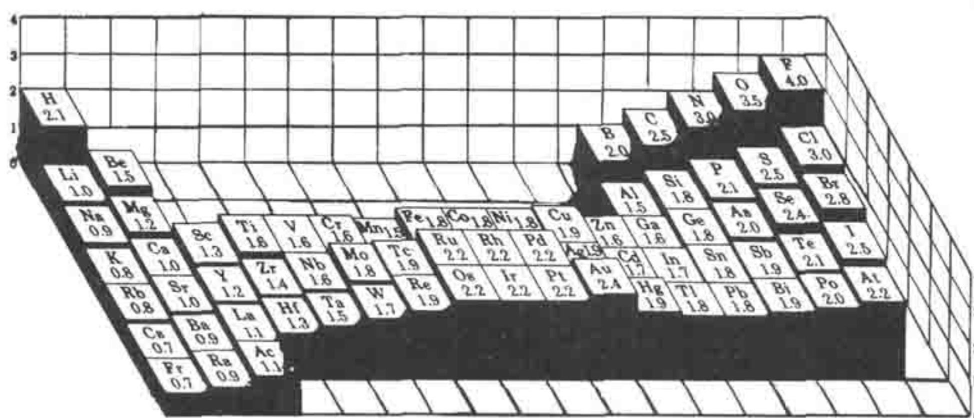
NaCl	$MgCl_2$	$AlCl_3$	$SiCl_4$	PCl_3	SCl_2	Cl_2	فرمول ماده
جامد	جامد	جامد	مایع	مایع	مایع	گاز	حالت فیزیکی (شرایط معمولی)
۸۰۸	۷۱۴	۱۸۰	۷۰−	۹۲−	۷۸−	۱۰۱−	نقطهٔ ذوب °C
۱۴۶۵	۱۴۱۴	۴۲۳	۵۷	۷۶	؟	۳۴−	نقطهٔ جوش °C

این جدول را به دقت بررسی کنید و نظامهایی را که به نظرتان می‌رسد بیان کنید. وجود مواد گازی درسمت راست، مایع دروسط و جامد درسمت چپ، چه تفاوتی را از لحاظ مقدار نیروی جاذبهٔ الکتروستاتیک میان ذرات می‌رساند؟ چرا نقطهٔ ذوب وجوش کلریدهای سمت راست پایین و درسمت چپ بالاست؟ آیا می‌توان باتوجه به تغییرات تدریجی خصلت پیوند در عناصر ردیف دوم و سوم به یک فرضیه یا تعمیم کلی رسید؟

درصورتی که پاسخ مثبت باشد، چه سودی ازاین فرضیه خواهیم برد؟

همان طوری که می‌دانید عناصر سمت راست جدول دارای انرژی یونیزاسیون زیادهستند. این عناصرمانند فلوئور تمایل به جذب الکترون دارند. البته گازهای بی‌اثر که اربیتالهای سطح خارجی آنها پر است، تمایلی به جذب الکترون وتشکیل یون منفی ندارند.

در هردوره ازجدول تناوبی، باکاهش انرژی یونیزاسیون ازراست به چپ، تمایل به جذب الکترون به‌وسیلهٔ عناصر کمتر می‌شود. برای نشان دادن تمایل نسبی عنصرها به جذب الکترون از کمیت دیگری به نام الکترونگاتیوی استفاده می‌کنند. به فلوئور که تمایل زیادی برای جذب الکترون دارد، الکترونگاتیوی ۴ داده شده وبرای لیتیم که دردورهٔ دوم جدول تناوبی درطرف مقابل فلوئورقرارگرفته‌وتمایل بسیارکمی به جذب‌الکترون دارد، الکترونگاتیوی ۱ درنظر گرفته‌اند. شکل زیر الکترونگاتیوی عناصر جدول تناوبی را نشان می‌دهد.



الکترونگاتیوی عناصر

این شکل را به دقت مورد بررسی قراردهید وبه‌چند نظام سودمند برسید.
تغییرات الکترونگاتیوی عناصر درهریک ازدوره‌هاازراست به چپ چگونه‌است ؟
آیا تجربیات شما درمورد واکنش سریع فلزهای قلیایی یا قلیایی خاکی با اکسیژن وبا آب که منجر به تشکیل دادن یونهای مثبت می‌شود، با این تغییرات مطابقت دارد ؟
تغییرات الکترو نگاتیوی عناصر درهرگروه ازبالا به پایین چگونه‌است ؟ کلر میل بیشتری به جذب الکترون دارد یا ید ؟ ازجدول الکترو نگاتیوی دراین باره چه استنباط می‌شود ؟
چه دلیل تجربی وآزمایشگاهی برای تأیید نتیجه‌گیری نظری شما ازروی جدول وجود دارد ؟
چه عنصرهایی دارای بیشترین وچه عنصرهایی دارای کمترین الکترونگاتیوی هستند ؟

۸ـ پیشگویی خصلت پیوند با استفاده از الکترو نگاتیوی عناصر

با استفاده از الکترونگاتیوی عناصر می‌توان به طورکلی، تغییرات خصلت پیوند را پیش‌بینی کرد.

برای مثال، تفاوت الکترونگاتیوی فلوئور با لیتیم درتناوب دوم، همچنین کلر باسدیم در تناوب سوم، نسبتا" زیاداست. دانستنیهای ما در مورد LiF و NaCl نیز نشان می‌دهدکه پیوند آنها خصلت یونی داردو از نوع الکتروو الانسی است.

درصورتی که تفاوت الکترونگاتیوی در دواتم فلوئور مربوط به مولکول F_2 ویا دو اتم کلر مربوط به مولکول Cl_2 صفر است ومی‌دانیم که چنین ترکیبهایی کاملا" کووالانسی هستند.

باتوجه به دومثال بالا، نتیجه می‌گیریم که هرچه تفاوت الکترونگاتیوی میان دوعنصر در یک پیوند زیاد باشد، پیوند به سوی یونی کشیده می‌شود وبالعکس هرچه این تفاوت کمتر شود، پیوند بیشتر خصلت کووالانسی پیدا می‌کند.

پرسش ـ چنان که قبلا" گفته شد، مولکول HF خاصیت قطبی داشته وتراکم ابرالکترونی در اطراف فلوئور بیش از ئیدروژن است. باتوجه به این که الکترونگاتیوی فلوئور ۴ و الکترونگاتیوی ئیدروژن ۲/۱ است، علت پیدایش خواص کووالانسی قطبی را درمولکول HF توجیه کنید.

۹ـ مولکولهای غیرقطبی و دوقطبی

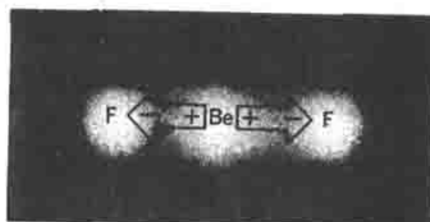
چنان که قبلا" گفته شد، وقتی پیوند بین دواتم یکسان ایجادشده باشد، آن پیوند غیر قطبی است ودرنتیجه مولکول حاصل نیز غیر قطبی می‌شود. مثال چنین مولکولهایی F_2 و H_2 می‌باشد.

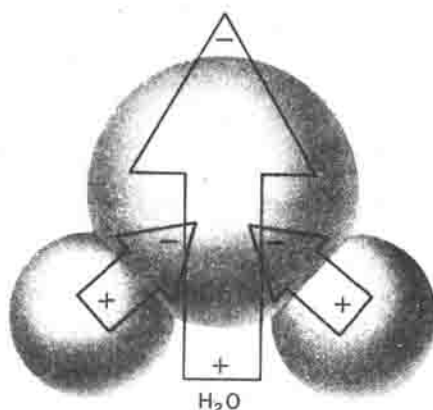
درمولکولهایی که‌ازاتمهای غیریکسان درست شده‌اند، پیوندها به‌علت تفاوت الکترونگاتیوی اتمها، دوقطبی هستند و پیش‌بینی اولیه درمورد مولکولهای آنها نیز فقط روی زمینهٔ قطبی است. درصورتی که بررسیها وآزمایشها نشان می‌دهدکه برخی از این مولکولها قطبی نیستند، به شکلهای صفحهٔ بعد توجه کنید.

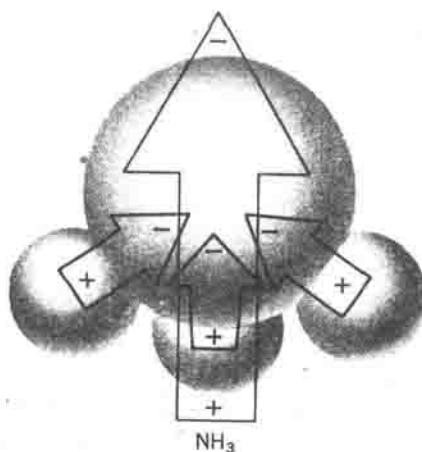
شکل اول مربوط به فلوئورید بریلیم BeF_2 گازی است. چنان که می‌بینید پیوند $Be-F$ به علت تفاوت زیاد الکترونگاتیوی بریلیم با فلوئور به شدت قطبی است ولی چون مرکز بارهای منفی و مرکز بارهای مثبت در مرکز مولکول بر هم منطبق هستند، مولکول غیر قطبی می‌شود.

در سابق با مولکولهای غیر قطبی دیگری چون BF_3 و CF_4 آشنا شدید.

درمولکولهایی مانند H_2O و NH_3، همان طوری که درشکل مشاهده می‌شود، مرکزبارهای مثبت ومرکز بارهای منفی برهم منطبق نبوده واثر یکدیگر را خنثی نمی‌کنند. درنتیجه این مولکولها روی هم رفته دوقطبی هستند.









لینوس‌پاولینگ هنگام ایراد سخنرانی دردانشگاه شیراز (فروردین‌ماه ۱۳۵۴)

لینوس‌پاولینگ (متولد سال ۱۹۰۱— Linus Pauling)

درجهان امروزشهرت لینوس‌پاولینگ ازحدود آزمایشگاه او گذشته ودرسراسر گیتی گسترش یافته‌است. پاولینگ و مادام کوری تنها افرادی هستندکه دوبار جایزهٔ نوبل گرفته‌اند. پاولینگ اولین جایزهٔ نوبل خود را در سال ۱۹۵۴ در شیمی برای تحقیقاتش دربارهٔ "ماهیت پیوندهای شیمیایی" دریافت کرد. جایزهٔ صلح نوبل سال ۱۹۶۲ را نیز به خاطر تلاشهای عظیم درراه تأمین صلح ورفاه بشری ومخالفت باتوسل به جنگ وستیز به عنوان راه حل مشکلات جهانی دریافت داشت.

درسالهای اولیه کارش در انستیتوتکنولوژی کالیفرنیا یعنی همان جایی‌که بیشترکارهای علمی خودرا انجام داده است، ازخاصیت پخش شدن اشعهٔ X درمواد برای اندازه‌گیری فاصله میان‌اتمها درمولکولها وبلورها استفاده کرد.با استفاده ازاین اشعه، پاولینگ به بسیاری ازاسرار ساختمان‌بلورهاونیروهایی‌که‌ذرات آنها رابه هم پیوند داده‌است، پی برد.درسال ۱۹۳۹کتابی تحت‌عنوان "ماهیت پیوندهای شیمیایی" منتشر کرد که تأثیر بسیارزیادی روی تمام تحقیقات دررشته‌های‌گوناگون‌شیمی برجای گذاشت. دراین کتاب اوپیوندهای کووالانسی ویونی را تشریح کرد. فرضیهٔ جسورانهٔ پاولینگ دربارهٔ نقش اربیتالها درتشکیل پیوندهمچنین تئوری او در مورد توجیه خواص غیرعادی مولکولهای بنزن وبرخی مولکولهای دیگر نقش مهمی درپیشرفت علم شیمی داشته است.

فعالیت وتحقیقات پاولینگ در انستیتوتکنولوژی کالیفرنیا باعث شد که این مؤسسهٔ آموزشی به یکی از مراکز تحقیقی مهم جهان دربیوشیمی تبدیل گردد. پاولینگ روشهای شیمی فیزیک‌رابرای‌حل بسیاری ازمسائل پزشکی به‌کاربرد. ساختمان پروتئینها و گلبولهای‌قرمز خون را مورد مطالعه قرارداد. همچنین پیدایش بسیاری از بیماریها وچگونگی‌درمان آنها راازدیدگاه مولکولی مورد توجه قراردادو بالاخره مفهوم "بیماری مولکولی" رابرای برخی از بیماریهای روانی به کار برد.

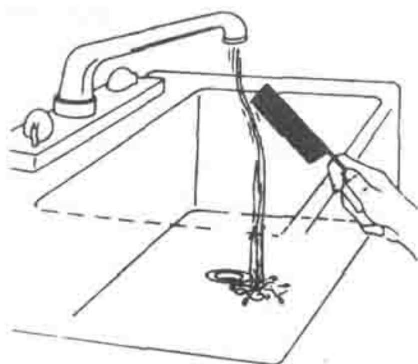
پاولینگ هنگام‌تحقیق‌دربارهٔ مسائل مربوط به وراثت، مرتباً زیانهای ناشی ازسلاحهای اتمی رامورد توجه‌قراردادو درموردتأثیرات ژنتیکی مواد رادیو اکتیوی که درنتیجهٔ آزمایشهای هسته‌ای درجو بر زمین فرومی‌ریزند، تحقیق نمود.

دراوایل سال ۱۹۵۸ دادخواستی باامضای ۹۳۲۵ دانشمند به سازمان ملل متحد تسلیم کرد که درآن خواسته شده بودتاآزمایشهای هسته‌ای درفضا راتحریم کنند. کوششهای وی منجر به تعیین مهلت قانونی ودرنتیجه امضای قرارداد تحریم آزمایشهای هسته‌ای درفضابه وسیلهٔ بیش از ۱۰۰ کشور عضو سازمان ملل گردید.

آزمایشهای الکتریکی‌وشواهد گوناگون، وجوددوسر مثبت ومنفی را درمولکولهای آب و امونیاک‌نشان‌می‌دهد. شکل زیر نمایشی برای نشان دادن خواص مولکولهای قطبی وجهت گرفتن آنها درمیدان الکتریکی می‌باشد.

الکترومغناطیس
دوصفحهٔ‌فلزی موازی
میله‌آهنی
قطب نما
باتری
کلید (خاموش)
توزیع نامنظم مولکولهای‌قطبی
کلید (خاموش)
میدان‌مغناطیسی
میدان‌الکتریکی
کلید (روشن)
کلید (روشن)

همان‌طوری‌که‌قطب نمابه‌طورموازی‌درامتداد میدان مغناطیسی قرارمی‌گیرد، مولکولهای‌قطبی نیز درامتداد یک میدان‌الکتریکی قرارمی‌گیرند. هرگاه‌سرخود رابا یک شانه پلاستیکی، شانه‌کنید، سپس آن را مطابق شکل به باریکهٔ آبی نزدیک نمایید، مشاهده می‌کنید که‌آب ازراستای قائم منحرف می‌شود.



اینآزمایش و آزمایشهای دیگرنشان‌می‌دهد که مولکول آب خواص الکتریکی آشکاری دارد و دارای دوقطب مثبت ومنفی است.

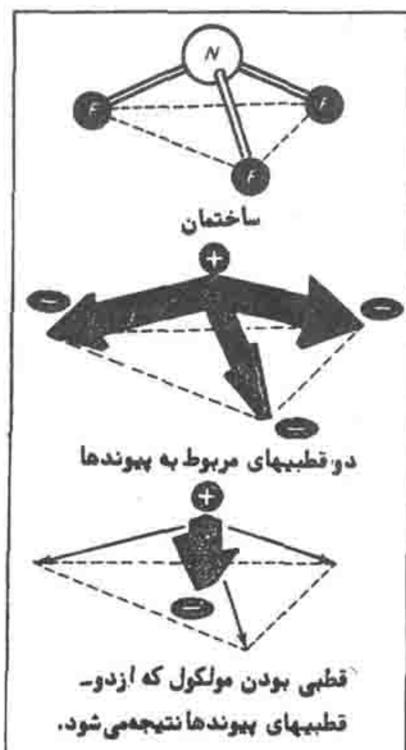
برای این که مولکولی قطبی باشد، فراهم بودن دو شرط زیر ضرورت دارد:

۱ـ جنس اتمهای آن یکسان نباشد.

۲ـ مراکز اثربارهای منفی ومثبت آن روی یکدیگر منطبق نشوند.

بنابراین می‌توان گفت که قطبی بودن یک مولکول کاملاً" به شکل آن بستگی دارد. چگونگی پیدایش شکلهای متفاوت برای مولکولهای گوناگون رادرسالهای آینده خواهیددید.

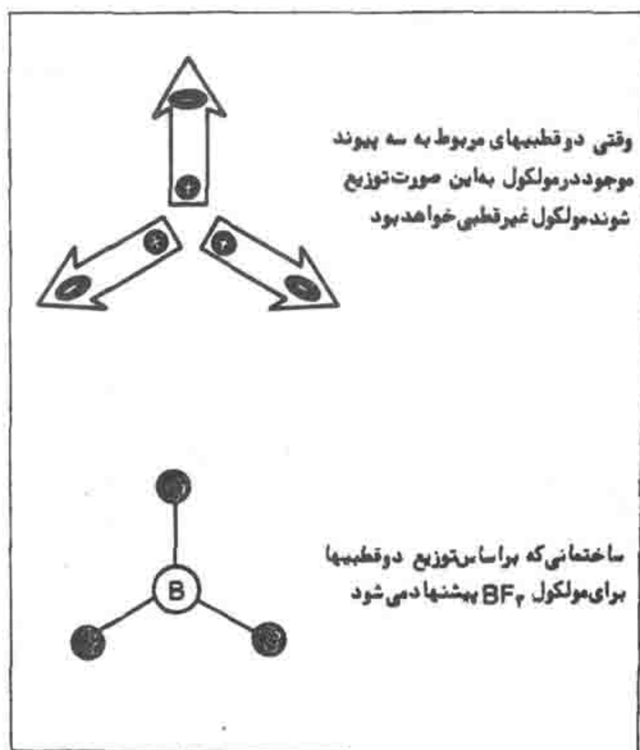
پرسش ۱ـ بااستفاده از شکلهای زیر و اطلاعات خود ازدرس فیزیک سال گذشته، علت قطبی بودن NF_3 و قطبی نبودن BF_3 رانتیجه گیری کنید.



ساختمان

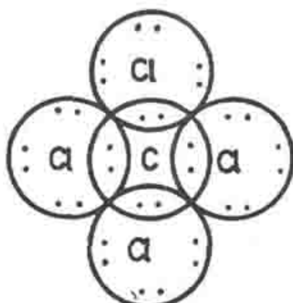
دو قطبیهای مربوط به پیوندها

قطبی بودن مولکول که ازدو- قطبیهای پیوندها نتیجه‌می شود.



وقتی دوقطبیهای مربوط به سه پیوند موجوددرمولکول بهاین صورت توزیع شوندمولکول غیرقطبی خواهدبود

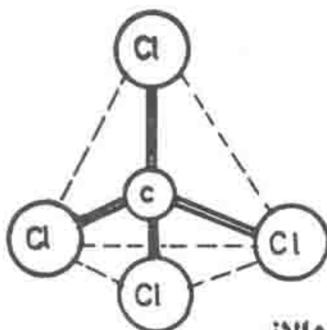
ساختمانی که براساس توزیع دوقطبیها برای مولکول BF_3 پیشنهادمی شود



پرسش ۲ـ شکل مقابل نمایش نقطه‌ای مولکول تتراکلریدکربن را نشان می دهد.

اولاً" ـ مشخص کنید هریک از الکترونهای جفت شده دراصل تابع کدام یک ازاتمها بوده است.

ثانیاً" ـ هرگاه بدانیدکه اتم کربن دراین مولکول (مطابق شکل) درمرکز یک چهار وجهی قرار گرفته و چهار اتم کلر در چهار رأس آن



وجود دارند، آیا به نظر شما، چنین مولکولی قطبی یا غیرقطبی است؟ چرا؟

پرسش ـ باآن که الکترونگاتیوی کربن وبرم باهم اختلاف دارند، چرا مولکول CBr_4 غیرقطبی است.

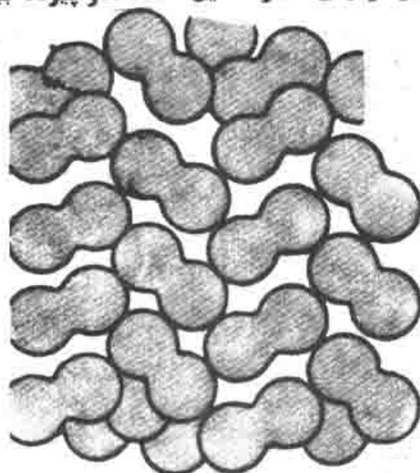
۱۰ ـ جامدهای مولکولی ، یونی ، فلزی و کووالانسی

درجدول زیر خواص عده‌ای از مواد باهم مقایسه شده‌است.

	ماده	فرمول	نقطهٔ ذوب °C	نقطهٔ جوش °C	هدایت جامد	الکتریکی مایع
گروه‌اول	ئیدروژن	H_2	−۲۵۹/۲	−۲۵۲/۸	−	−
	متان	CH_4	−۱۸۲/۵	−۱۶۱/۵	−	−
	کلریدئیدروژن	HCl	−۱۱۴/۲	−۸۵	−	−
	امونیاک	NH_3	−۷۷/۸	−۳۳/۴	−	−
	تتراکلریدکربن	CCl_4	−۲۲/۹	۷۶/۷	−	−
	نفتالین	$C_{10}H_8$	۸۰/۲	۲۱۸/۰	−	−
	ید	I_2	۱۱۳/۷	۱۸۴/۰	−	−
	گوگرد	S_8	۱۱۹	۴۴۵	−	−
گروه‌دوم	پتاسیم	K	۶۳	۷۵۷	+	+
	سدیم	Na	۹۸	۸۸۹	+	+
	منیزیم	Mg	۶۵۰	۱۱۲۰	+	+
	نقره	Ag	۹۶۱	۲۱۹۳	+	+
	مس	Cu	۱۰۸۳	۲۵۸۲	+	+
	آهن	Fe	۱۵۳۵	۲۸۰۰	+	+
گروه سوم	یدیدسرب	PbI_2	۴۱۲	۸۷۲	−	+
	یدیدپتاسیم	KI	۶۸۵	۱۳۲۴	−	+
	کلریدپتاسیم	KCl	۷۷۲	۱۴۰۷	−	+
	کلریدسدیم	NaCl	۸۰۸	۱۴۶۵	−	+
	اکسیدمنیزیم	MgO	۲۸۰۰	۳۶۰۰	−	+
گروه چهارم	سیلیس	SiO_2			−	−
	الماس	C			−	−

به طوری که ملاحظه می‌کنید مواد جدول را بر اساس هدایت الکتریکی آنها در سه گروه مجزا قرارداده‌ایم. مواد گروه اول به طورکلی چه به حالت جامد وچه به صورت مایع جریان‌برق را از خود عبور نمی‌دهند. نقطهٔ ذوب ونقطهٔ جوش این دسته از مواد درمقایسه با مواد گروههای دوم وسوم عموماً" پایین است وفاصلهٔ حرارتی بین نقطهٔ ذوب ونقطهٔ جوش در مواد گروه اول کوتاه است.

موادگروه‌اول، چنان که بعداً" خواهیم دید ازمولکولهای مجزاتشکیل شده‌اندو پیوند بین اتمهادراین‌مولکولها پیوندهای کووالانسی است. نیروهای‌موجود بین‌این‌مولکولهای مجزا درحالت مایع وهمچنین درحالت جامد، درمقایسه‌با نیروی پیوند کووالانسی خیلی کوچک است. این دسته ازمواد را درحالت جامد، "جامدات مولکولی" می‌نامند.



شبکهٔ بلوری ید
مثالی از جامدات مولکولی

موادگروه دوم‌همگی فلز هستند وجامدات فلزی را تشکیل می‌دهند. به طوری که ملاحظه می‌کنید، درحالتهای‌جامدومایع جریان برق رااز خودعبور می‌دهند.

موادگروه سوم فقط درحالت مذاب جریان برق راازخود عبور می‌دهند.

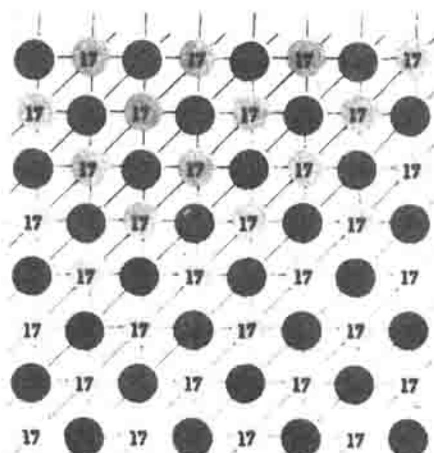
مواد گروه چهارم نقطهٔ ذوب بسیاربالائی‌دارند . در حالت جامد و درحالت‌مذاب جریان برق را از خود عبور نمی‌دهند .

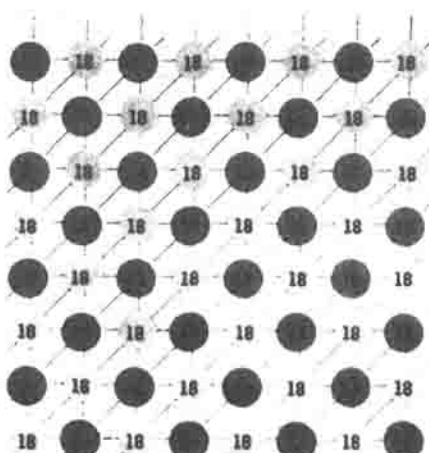
نقطهٔ ذوب‌ونقطهٔ جوش موادگروههای‌دوم وسوم عموماً"بالاست وفاصله‌حرارتی بین نقطهٔ ذوب ونقطهٔ‌جوش دراین مواد، نسبت به مواد کووالانسی گروه اول به طور کلی زیاد می‌باشد.

یکی‌ازخواص مواد گروه سوم‌این است که درحالت مذاب ویا به‌صورت حل‌شده‌درآب‌جریان برق را عبور می‌دهند. به‌یاد دارید که درتجزیهٔ الکتریکی کلریدپتاسیم مذاب، درقطب مثبت گازکلر ودرقطب منفی فلزپتاسیم آزادمی‌شود. آزادشدن‌کلر درقطب مثبت دلیل براین است‌که ذرات کلر موجود درکلریدپتاسیم دارای بارمنفی است (یونهای‌منفی‌کلریا Cl^-)، وآزاد شدن پتاسیم درقطب‌منفی دلالت بر وجودبارمثبت درآن است (یونهای‌مثبت‌پتاسیم‌یا K^+) بنابراین کلریدپتاسیم ازیونهای K^+ ویونهای Cl^- تشکیل یافته‌است.

یک دلیل روشن درتأیید این مطلب بررسی بلور کلریدپتاسیم به وسیلهٔ اشعهٔ ایکس‌است. می‌دانیم که درساختمان این بلورها، ذرات کلرو پتاسیم شرکت دارند. عدداتمی کلر ۱۷ و از آن پتاسیم ۱۹ می باشد. بنابراین انتظارما این است که تعداد‌الکترونهامطابق قسمت (الف)

ازشکل زیر، دراطراف نیمی‌از ذرات، ۱۷ ودراطراف نیم دیگر، ۱۹ می‌باشد.





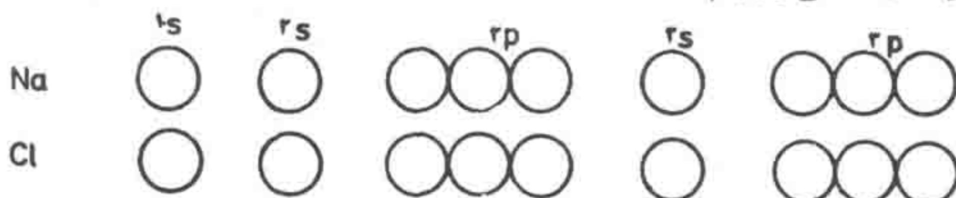
الف   ب

درصورتی‌که‌بررسی بلورهای‌کلرید پتاسیم به‌وسیلهٔ اشعهٔ ایکس و انجام دادن‌محاسبات‌نشان می‌دهد که تعداد الکترونها مطابق قسمت (ب) شکل، دراطراف کلیهٔ ذرات تشکیل‌دهندهٔ بلور یکسان‌بوده و برابر ۱۸می‌باشد. یکسان بودن تعداد الکترونها درصورتی‌قابل‌توجیه‌است‌که قبول کنیم که یک‌الکترون به‌طورکامل ازپتاسیم‌جدا شده وبه‌کلر پیوسته‌است. دراین‌صورت است که یونهای K^+ و Cl^- پدید می‌آید. این توجیه با در نظر گرفتن تفاوت زیاد موجود میان الکترو نگاتیوی پتاسیم و کلر نیز قابل قبول است.

پرسش‌ـ باتوجه‌به چه عواملی‌می‌توان‌فهمید از دوعنصر که باهم ترکیب می‌شوند کدام‌یک الکترون می‌دهد وکدام یک الکترون می‌گیرد؟

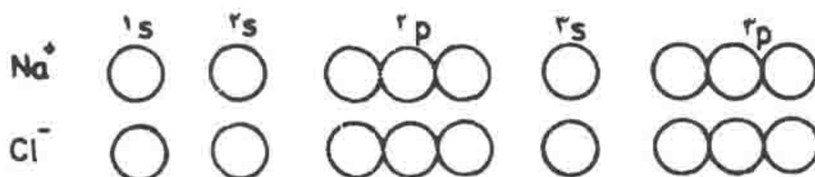
۱۱ـ پیوند یونی در بلورهای نمك طعام

باتوجه به این که عدداتمی سدیم، ۱۱ وعدداتمی کلر، ۱۷ است، آرایش الکترونها رادر اربیتالهای اتمی زیر رسم کنید.



حال‌بادرنظرگرفتن‌مفهوم پیوندیونی‌وموقعیت عناصر سدیم‌و کلر درجدول الکترونگاتیوی،

آرایش الکترونها رادر اربیتالهای یونی زیر رسم کنید.



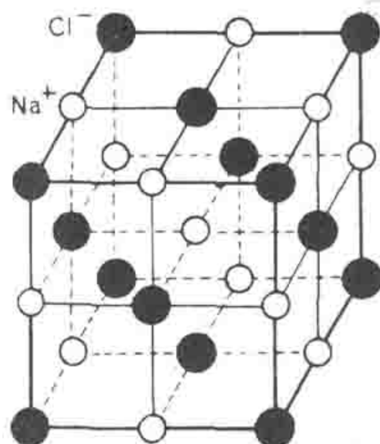
درکلرید سدیم، چون یونها بارهای الکتریکی مخالف دارند، یکدیگررا جذب می کنندوپیوندهای یونی را در بلور این‌ماده پدید می‌آورند. شاید فکر کنید که یک بلور نمک طعام از میلیونها جفت مشخص از یونهای سدیم وکلرید (Na^+Cl^-) تشکیل می یابد.

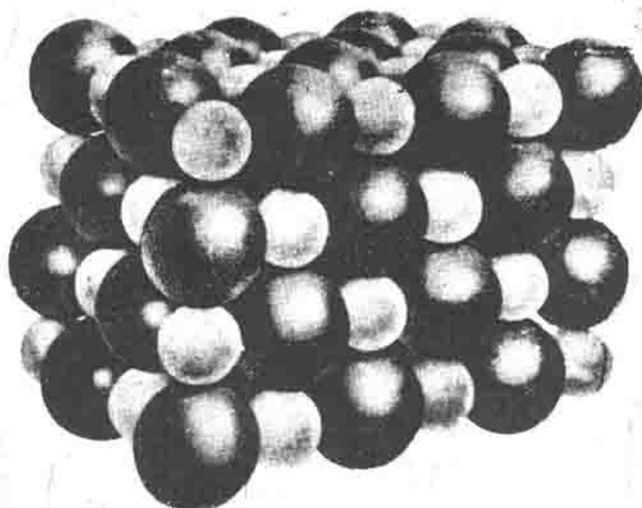
همان‌طورکه درشکل مربوط به بلور کلرید پتاسیم دیدید، عکسبرداری به وسیلهٔ اشعهٔ ایکس وجودچنین جفتهای مشخصی ازیونها را تأیید نمی‌کند. نیروهای جاذبهٔ میان یونهای مثبت و منفی ساختمان "غول‌آسایی" به‌وجود می‌آورند که شامل میلیونها یون است.



شکل سمت چپ بلوردرشتی ازنمک‌طعام را که ساختمان مکعب شکل دارد، نشان می‌دهد.

شکلهای زیر نیز نشان دهندهٔ دو طرح برای ساختمان یونی بلور نمک‌می‌باشند.





شبکهٔ بلوری کلرید سدیم ــ مثالی از جامدهای یونی

این شکلها می‌رسانند که درچنین بلوری ازجامدهای یونی‌یک شبکهٔ بلوری به وجودمی‌آید که میلیونها یون درآن به صورت ردیفهایی درمی‌آیند که هریک به نوبت خودیونهای‌سدیم و کلر را، یک درمیان در بر دارد.

پرسش ۱ ــ آزمایش نشان می‌دهد که در حالت گازی، مولکول نمک طعام به‌صورت $NaCl$ است. آیا درحالت جامد نیز همین فرمول درست‌است؟ چرا؟

پرسش ۲ــ ازمجموع بررسیهای فوق چهار خاصهٔ مهم را در جامدهای یونی بنویسید.

۱۲ــ پیوند فلزی

مقایسهٔ خصوصیات مواد درجدول صفحهٔ ۹۵ نشان می‌دهد که فلزات چه در حالت جامد و چه در حالت مذاب هادی الکتریسیته هستند، درصورتی که جامدهای ملکولی که در درون مولکولهای آنها پیوندکووالانسی وجوددارد، نه درحالت جامد و نه در حالت مذاب نمی‌توانند جریان الکتریسیته را هدایت کنند. اضافه بر این، نقاط ذوب و جوش فلزات بالا و نقاط ذوب و جوش مواد کووالانسی پایین است. این مقایسه می‌رساند که پیوند درفلزات از نوع کووالانسی که شناخته‌ایم، نیست.

بررسی خواص مواد یونی نیز نشان می‌دهد که این مواد در حالت مذاب هادی جریان الکتریسیته هستند ودرحالت جامد جریان راهدایت نمی‌کنند. ازطرف دیگر می‌دانیم که اگر از ترکیبات یونی درحال مذاب الکتریسیته‌عبوردهیم، ضمن عبور جریان، تجزیه می‌شوند. درحالی که فلزات در اثر عبور جریان هیچ‌گونه تغییری نمی‌کنند. بالاخره این را نیز می‌دانیم که واردشدن ضربه بربلوریونی باعث شکستن آن می‌شود ولی ساختمان جامد فلزی براثر ضربه درهم نمی‌ریزد.

بااین ترتیب دراینجا به این‌نتیجه می‌رسیم که پیوند در فلزها از نوع یونی نیست. پس پیوند فلزی چگونه پیوندی است؟

برای پی بردن به راز این پیوند که تقریبا" در۸۰ عنصر وجوددارد (فلزات جدول تناوبی)، ازروش تحقیقی وعلمی استفاده می‌کنیم. برای رسیدن به فرضیه‌ای که یارای بیان ماهیت این پیوند وتوجیه خواص فلزها راداشته باشد، ابتدابه جمع آوری مشاهدات ومدارک بیشتری می‌پردازیم تا ازآنها به یک یا چند نظام برسیم. دونظام مهمی که دراین مورد با آنها برخورد کرده‌ایم عبارتنداز:

الف ــ انرژی‌یونیزاسیون‌فلزهانسبتا" کم است. بنابراین پیوستگی سطحی‌ترین الکترونهای آنها (الکترونهای ظرفیت) کم بوده وبه آسانی جدامی‌شوند.

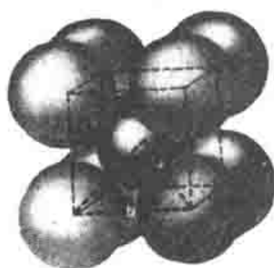
ب ــ تعدادالکترونها در اربیتالهای سطح خارجی اتمهای فلزی کم است، درنتیجه اغلب اربیتالها خالی می‌باشد.

باتوجه‌به‌این دونظام، برای بررسی چگونگی پیوندفلزی، ساده ترین فلز راکه لیتیم‌است انتخاب می‌کنیم. نمایش اربیتالی الکترونها دراین اتم به قرارزیراست:



دیدیم‌که‌اتم ئیدروژن، با آرایش الکترونی (H : ⊘) می‌تواندبا تشکیل پیوند کووالانسی مولکول H_2 به وجودآورد. آیالیتیم که دراربیتال 2s خودیک الکترون دارد، نیزمانند ئیدروژن می‌تواند درشرایط عادی با تشکیل پیوند کووالانسی، یک مولکول Li_2 به وجودآورد؟

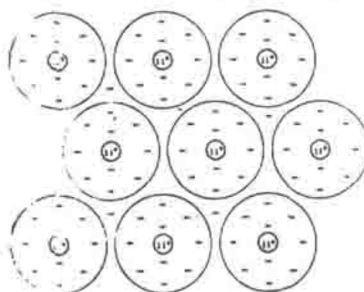
واقعیت آن است که لیتیم ماده‌ای جامداست که در °۱۷۹ ذوب می‌شود. درحالت جامد هادی جریان برق وحرارت است. این خصوصیات با مولکول کووالانسی Li_2 تطبیق نمی‌نماید. عکسبرداری به وسیلهٔ اشعهٔ ایکس و دلایل دیگر نشان می‌دهدکه ساختمان لیتیم جامد طوری است که هریک از اتمهای آن در وسط هشت اتم دیگر لیتیم قرارگرفته‌اند. شکل زیر یک جزء از چنین ساختمانی را نشان می‌دهد[1].



می‌دانیم‌که هراتم لیتیم فقط یک الکترون درسطح خارجی خود دارد وبا این یک الکترون نمی‌تواند، با هشت اتم همسایهٔ خود پیوندی از نوع پیوندهایی که تاکنون شناخته‌ایم، تشکیل دهد.

چون ارتباط این‌الکترون‌درهریک از اتمها با اتم مادر سست است، می‌تواند دراربیتالهای خالی مجاور طوری حرکت کند که همیشه میان دو هستهٔ مثبت قرار بگیرد. همین وضع برای هریک‌از اتمهای‌لیتیم مجاور وجوددارد والکترونهای آنها نیزآزادی تحرک در اربیتالهای خالی را دارند. با این‌ترتیب می‌توان چنین پیش‌بینی کردکه در فلز لیتیم الکترون سطح خارجی هریک از اتمها به کلیهٔ اتمهای تشکیل دهندهٔ بلور فلزی تعلق دارد وهمواره خود را بین دو هستهٔ مثبت می‌بیند. مجموعهٔ این الکترونها که به هیچ‌اتم‌خاصی‌وابسته‌نیستند واحتمال حضورآنها درتمام مناطق بلور یکسان است، "دریایی" از الکترون را به وجود می‌آورند که یونهای مثبت دراین دریا شناورهستند.

شکل زیر مدلی برای نمایش پیوند فلزی‌درسدیم است. اتمهای سدیم به صورت صفحه‌ایی‌از یونهای مثبت Na^+ درآمده که در دریایی از الکترونهای متحرک فرو رفته‌اند.



---

۱ ــ این شکل بلوری را اصطلاحا" مکعبی مرکز پر می‌نامند. (Body Centered Cubic)

۱۳ـ توجیه برخی خواص فلزها بر اساس پیوند فلزی

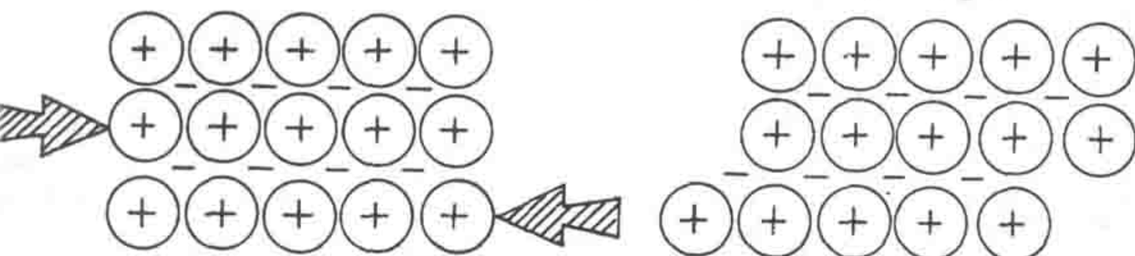
۱ـ هدایت الکتریکی فلزها ـ با توجه به مفهوم دریای الکترون و یونهای مثبت شناور در آن، جای شگفتی نمی‌باشد که یک الکترون بتواند به آسانی از محلی به محل دیگر حرکت کند، در این دریای الکترون که تعادل بارهای مثبت و منفی برقرار است، اگر الکترونی به‌وسیلهٔ جریان الکتریسیته از یک سو وارد شود، برای حفظ تعادل، یک الکترون از سوی دیگر خارج می‌شود و بدین وسیله جریان الکتریسیته منتقل می‌شود.

فکر دریای کم‌وبیش یکنواخت از الکترونهای غیرمستقر، مؤید تفاوت مهمی میان پیوندهای فلزی وپیوندهای عادی کووالانسی است. درپیوندهای کووالانسی نظیر آنچه در مولکولهای H_2 F_2یاHF دیده شد، الکترونهای تشکیل دهندهٔ پیوند بین هسته‌ها قرارگرفته اند وبه عبارتی دیگرمستقر می‌باشند. به همین دلیل درجامدهای غیر فلزی که اغلب دارای پیوند کووالانسی هستند، الکترونها به علت استقراردرجای خود، رسانای جریان الکتریسیته‌نمی‌باشند.

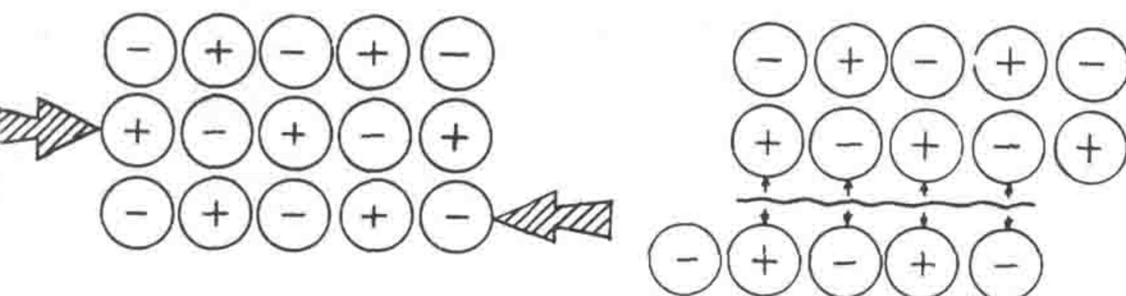
۲ـ هدایت گرمایی ـ باگرم کردن سرمیلهٔ فلزی، الکترونهای آنجا مقادیر زیادی انرژی جنبشی به دست می‌آورند. این انرژی باعث تحرک بیشتر الکترونها وتلاطم دریای الکترونی آنها می‌شود وجنبش حاصل به تدریج به سایر نقاط منتقل می‌گردد وبدینسان هدایت گرمایی صورت می‌گیرد.

۳ـ چکش خواری ـ می‌دانید که فلزات بر اثر ضربه‌های چکش تغییر شکل می‌یابند و ساختمان بلورهای آنها برخلاف ترکیبات یونی از هم پاشیده نمی‌شود.

وقتی یک فلز(شکل صفحه بعد)تحت فشار قرارگیرد، ممکن است سطحی از اتمهای آن روی



بلورهای فلز قابلیت مفتول‌شدن دارند

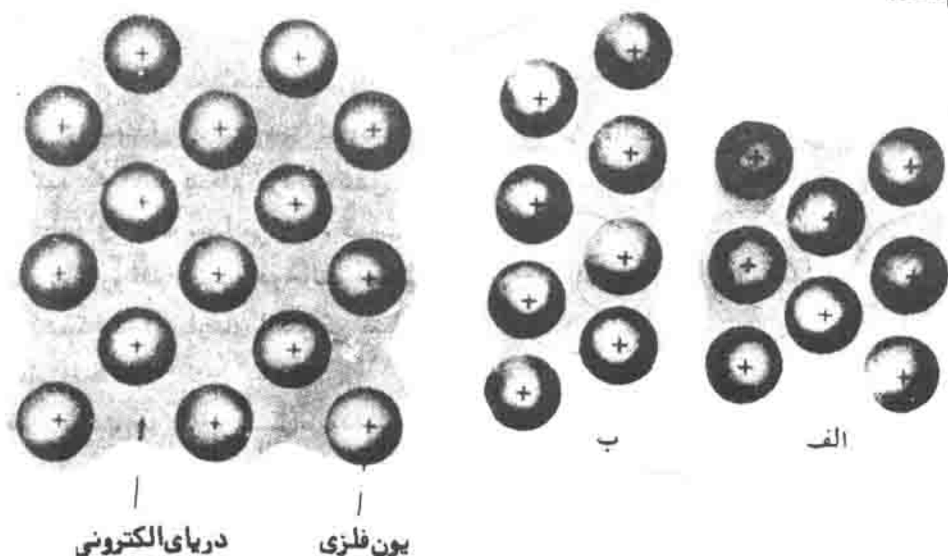


بلورهای یونی شکننده هستند



آیا بدون خواص پیوند فلزی امکان ساختن چنین آثار هنری زیبایی وجود دارد؟

سطح دیگر بلغزد. درچنین شرایطی، دریای الکترونی، پیوند میان دوسطح را حفظ می کند (شکل زیر سمت چپ) شکل زیر سمت راست نیز امکان تهیهٔ مفتولهای باریک فلزی را به همین صورت نشان می دهد.



می توان فلز را به کمک ضربه وفشار به شکلهای مختلف درآورد. درهر مورد دریای الکترون، پیوند میان یونهای مثبت را حفظ می کند.

۱۴ـ نیروهای واندروالسی

می دانیم که نیروهای جاذبهٔ میان مولکولهای یک ماده درحالت مایع بیش از حالت گازی است. درحالت گازی نیروی جاذبهٔ میان مولکولها محسوس نیست ولی درحالت مایع اثر این نیروها به اندازه ای زیاد می شود که توانایی غلبه بر نیروهای جنبش مولکولی را داشته و از پراکنده شدن آنها به صورت گاز جلوگیری می نماید. ازطرف دیگر می دانیم که مولکولهایی مانند F_2 Cl_2 و CH_4 همچنین مولکولهای یک اتمی گازهای بی اثر، خواص قطبی ندارند وبه نظر می رسد که نمی توان دلیلی برای وجود نیروهای جاذبهٔ میان آنها درنظر گرفت. با این ترتیب پیش بینی می شود که این گازها نباید به مایع تبدیل شوند، درحالی که شواهد تجربی نشان می دهد که در دمای پایین وفشار مناسب، همهٔ این گازها به مایع تبدیل می شوند.

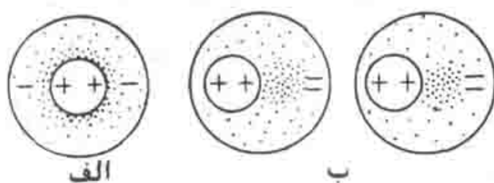
آیا می توان برای توجیه این واقعیتها وشواهد تجربی درمورد تبدیل حالت گازی به حالت مایع دراین گونه مواد، چنین فرض کرد که پیوندهایی میان مولکولهای این مواد پدید می آید؟

می دانید که مولکولهای نامبرده فوق به علت پر بودن اربیتالهای ظرفیتی خودهیچ گونه تمایلی برای تشکیل پیوند بایکدیگر ندارند. قبلاً نیز به برخی موارد مانند عدم امکان تشکیل مولکولهایی مانند He_2 و F_3 یا F_4 اشاره شد.

باتوجه به شواهد وتوضیحات بالا، برای تبدیل شدن به این گازها به مایع باید چنین تصورکردکه‌نیروهای‌جاذبهٔ‌خاصی میان‌مولکولهای‌آنها‌پدیدمی‌آید. واندروالس(Van der Waals) دانشمند هلندی برای اولین‌بار نیروهای بین مولکولی را موردتوجه قرارداد. وبه همین علت آنهارا نیروهای واندروالسی می‌نامند.

توجیهی برای‌وجودنیروهای واندروالسی

دانشمندان برای‌توجیه نیروهای واندروالسی میان‌مولکولهای مواد گوناگون چنین فرض می‌کنند که آنها هنگام نزدیک شدن به‌یکدیگر دو قطبهای موقت پیدا می‌کنند. قسمت الف از شکل روبه رو اتم هلیم رادرحالت معمولی نشان می‌دهدکه‌ازلحاظ بارهای الکتریکی متقارن بوده وقطبی نیست.



قسمت ب ازاین شکل، پیدایش قطبهای مثبت و منفی را در دو اتم هلیم که به یکدیگر نزدیک شده‌اند نشان می‌دهد. در این اتمها برای لحظهٔ بسیار کوتاهی، تراکم ابر الکترونی در یک سوی اتم بیش از سوی دیگر است و به همین علت یک سر اتم قطب منفی موقت و سر دیگر قطب مثبت موقت را به وجود می‌آورد. پیدایش قطبهای موقت در این اتمها باعث ایجاد نیروهای جاذبهٔ واندروالسی می‌شود.

علت پیدایش قطبهای موقت رامی‌توان نتیجهٔ تأثیر عواملی از قبیل اثر متقابل هستهٔ هراتم برالکترونهای‌اتم دیگرکه‌به‌آن نزدیک می‌شود، همچنین جنبش دائم مولکولها وبرخورد آنها به یکدیگر وبالاخره حرکت الکترونها دراطراف هسته دانست.

چون نیروهای واندروالسی‌که‌نتیجهٔ پیدایش‌قطبهای‌موقت‌هستند بسیار ضعیف می‌باشند، ازاین‌رو نقطهٔ جوش ونقطهٔ ذوب موادی که به علت وجوداین‌نیروها مایع یاجامدشده‌اندبسیار پایین می‌باشد وبراثر اندک انرژی تغییر حالت می‌دهند.

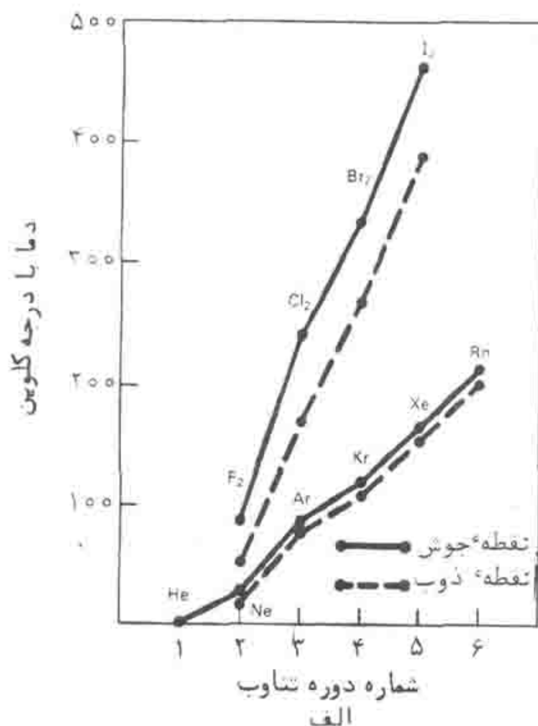
معمولاً نیروهای واندروالسی درمواد قطبی ویونی نیز وجود دارند ولی چون میزان آنها نسبت‌به نیروهای‌جاذبهٔ قوی میان قطبهاو یونهای مثبت ومنفی ناچیز است، از این رو اغلب، به هنگام بررسی نیروهای جاذبه درموادقطبی ویونی، مورد توجه قرارنمی‌گیرند.

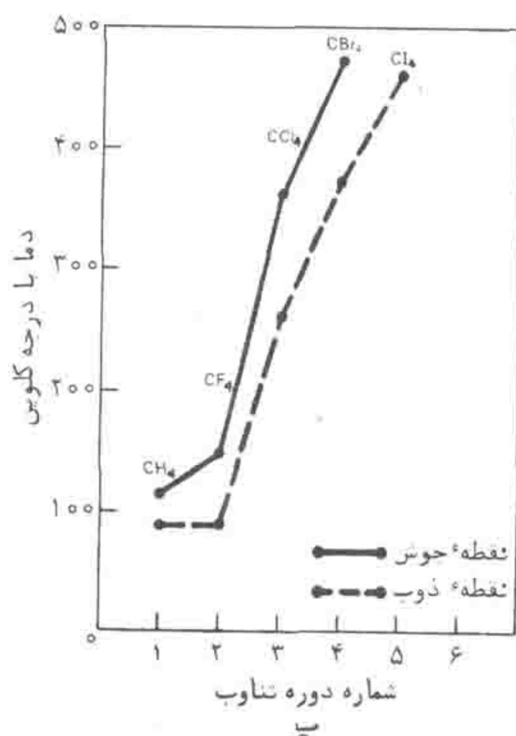
نمودار (الف) ازشکل صفحهٔ بعدنشان می‌دهد که‌درگازهای بی‌اثروهمچنین درهالوژنها، با افزایش عدداتمی، نقطهٔ ذوب ونقطهٔ جوش بالا می‌رود.

عامل‌مؤثر دربالارفتن‌نقطهٔ ذوب‌وجوش‌این مواد را می‌توان‌زیادشدن‌نیروهای‌واندروالسی دانست. افزایش این نیروها نیز نتیجهٔ زیاد شدن تعدادالکترونها وبزرگتر شدن مولکولها می‌باشد.

نمودار(ب)ازشکل‌صفحهٔ بعدنیزتغییرات‌نقطهٔ‌ذوب‌وجوش هالوژنیدهای‌کربن را نشان می‌دهد.

در این مواد، هالوژنها سطح خارجی مولکول را تشکیل می‌دهند. با بزرگتر شدن هالوژن، مولکول نیز بزرگتر شده ونیروهای واندروالسی افزایش می‌یابد ودر نتیجه نقطهٔ دوب وجوش نیز بالا می‌رود.



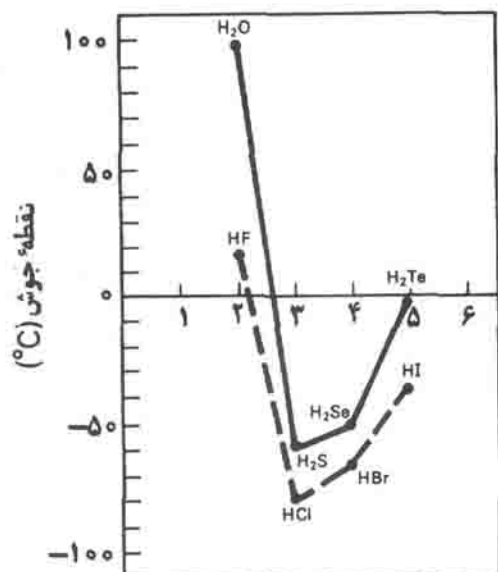


۱۵- پیوند ئیدروژنی

همان طوری که دیده شد، به کمک نیروهای واندروالسی، می‌توان بسیاری ازخصوصیات فیزیکی مولکولهای غیرقطبی راتوجیه کرد. چون نیروهای جاذبهٔ میان مولکولهای قطبی نسبتاً" قوی‌هستند، ازاین رونقش نیروهای واندروالسی درآنها ضعیف شده و بجاست که این مولکولها را ازدیدگاه دیگری بررسی کنیم.

تاکنون بامولکولهای قطبی HF و H_2O آشنا شده‌اید ومی‌دانید که این مولکولهایک سر مثبت ویک سر منفی دارند. همچنین می‌دانیدکه فلوئور کوچکترین اتم عناصر گروه هفتم واکسیژن کوچکترین اتم عناصر گروه ششم جدول تناوبی می‌باشند. شاید مناسب باشد که برای پیش‌بینی خواص ترکیبات این دوگروه از عناصر، ازاصل کلی تغییرات تدریجی خواص درجدول تناوبی استفاده کنیم.

شکل صفحهٔ بعد نمودارنقطه‌های جوش ترکیبات ئیدروژن‌دار عناصر گروه هفتم و ششم را به‌ازای شمارهٔ سطوح اصلی انرژی نشان می‌دهد.



شمارهٔ دورهٔ تناوب

مطابق این نمودار، نقطه‌های جوش HI ، HBr و HCl به تدریج وبا کاهش عدداتمی، کم می‌شود. انتظار ما ازاین‌نظام آن است که نقطهٔ جوش HF که کوچکترین این سری مولکولهاست، نیزپایین‌تراز HCl باشد، ولی واقعیت تجربی استثنای مهمی را در این مورد نشان می‌دهد (نقطهٔ جوش HF به‌جای آن که‌کمتر از ۹۵°C− باشد، ۱۹/۹°C+ است). مجدداً" همین نظام را درمورد H_2Te ، H_2Se و H_2S ملاحظه‌می‌کنیم و استثنای آن را درH_2Oمی‌بینیم (نقطهٔ جوش H_2Oنیز به جای آن که حدود ۸۰°C− باشد، ۱۰۰°C است).

درفصل اول، بااصل محدودیت درقلمرو فرضیه‌های علمی آشنا شدید و دانستید که در نظامهای‌طبیعی، استثناها‌و محدودیتهایی‌وجوددارد‌که‌برای توجیه‌آنها به جمع آوری مشاهدات بیشتر وپیشنهاد فرضیه‌های دیگری نیازداریم. افزایش ناگهانی نقطه‌های جوش در فلوئورید ئیدروژن‌وآب نشانهٔ پیدایش نوع جدیدی از نیروهای جاذبهٔ بین مولکولی است که با نیروهای جاذبهٔ معمولی میان مولکولهای‌قطبی یا نیروهای‌واندروالسی در ترکیبات‌هم‌گروه‌تفاوت دارند.

هرگاه نمودار نقطه‌های جوش ترکیبات ئیدروژن دار عناصر گروه پنجم جدول تناوبی را رسم کنید، مجدداً" به نظام مشابهی می‌رسید و استثنای آن را درموردNH_3می‌بینید.ولی در گروه چهارم که مولکولهای ئیدروژن دار عناصر آنها قطبی نیستند، چنین استثنایی وجودندارد وتغییرات نقطهٔ جوش آنها منظم است.

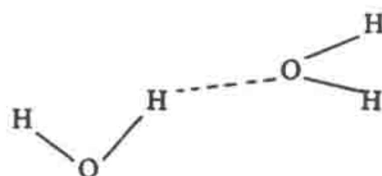
برای توجیه علت بالا بودن غیرعادی نقطه‌های جوشH_2O, HF و NH_3 بجاست که به موقعیت عنصرهای F ، O و N درجدول تناوبی، همچنین میزان الکترونیگاتیوی آنها رجوع کنیم. این عناصر دربالای گروههای هفتم، ششم و پنجم قراردارند وهریک نسبت به گروه خود، بیشترین‌الکترونگاتیوی‌راداشته‌و قویترین‌نیروهای‌جاذبه‌رابرالکترونهای‌اطراف‌خودوارد می‌نماید.

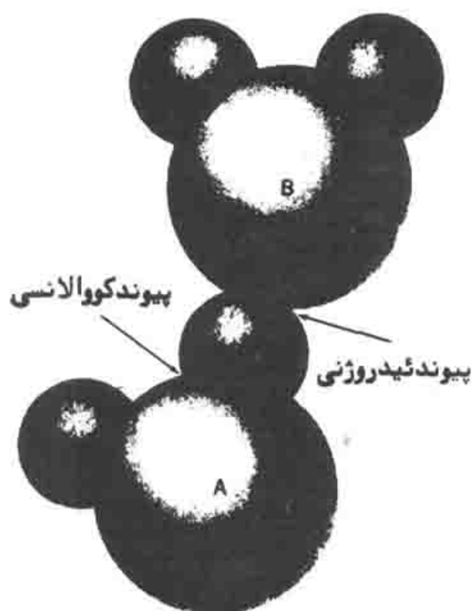
برای بررسی خصوصیات نیروهای جاذبهٔ غیرعادی میان مولکولهای این مواد، مولکول آب را که با آن آشنایی بیشتری داریدو درزندگی ما اهمیت فراوان دارد، انتخاب می‌کنیم.

درسابق به خواص قطبی آب پی بردید ودانستید که پیوندهای میان H و O قطبی بوده به طوری که H سر مثبت و O سر منفی را تشکیل می‌دهد. به علت الکترونگاتیوی زیاد اکسیژن، نیروی جاذبه نسبتاً" قوی میان O موجود دریک مولکول آب و H مولکول همسایه برقرار می‌گردد.

بنابراین درمولکول آب، اتم ئیدروژن از یکسو بوسیلهٔ یک پیوند کووالانسی قوی با اتم

اکسیژن مادرمربوط می‌باشدواز سوی دیگر به وسیلهٔ نیروی جاذبهٔ الکتروستاتیک با اتم اکسیژن همسایه نیز پیوند تشکیل می‌دهد. این نوع پیوند را، پیوند ئیدروژنی می‌نامند.

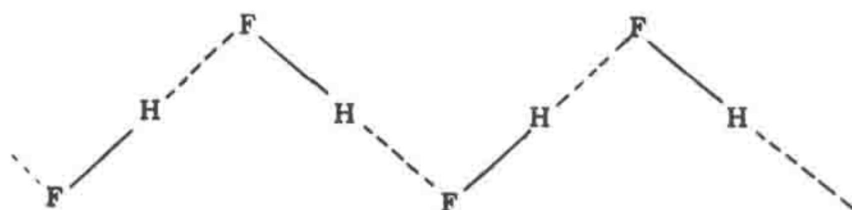




درحقیقت اتم ئیدروژن، درپیوند ئیدروژنی نوعی پل میان دواتم اکسیژن به وجودمی‌آورد.

می‌دانیدکه اتمهای ئیدروژن واکسیژن در مولکول آب به علت تشکیل پیوند کووالانسی دارای اربیتالهای ظرفیتی پر هستند، بنابراین نباید انتظار داشت که هنگام تشکیل پیوند ئیدروژنی میان مولکولهای مجاور، اشتراک الکترونی دیگری از نوع کووالانسی معمولی صورت گیرد.

پیوند ئیدروژنی میان مولکولهای HF رانیز می‌توان به صورت زیر نمایش داد.



پرسش ـ چرا HF ، H_2O و NH_3 نقطهٔ جوش بالایی دارند، ودرحالی که CH_4 گازی است که به سختی تبدیل به مایع می‌شود؟

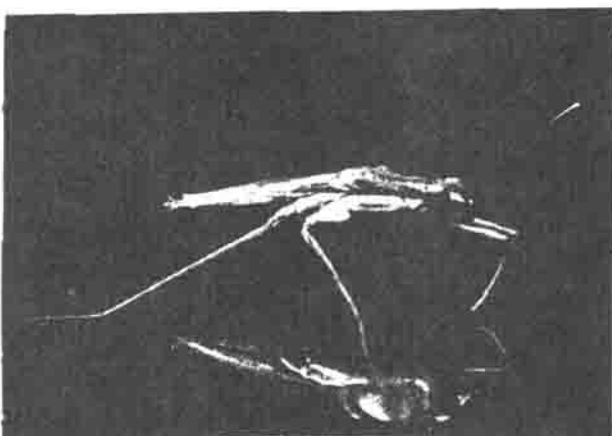
مقایسهٔ پیوند ئیدروژنی با پیوندکووالانسی وپیوندواندروالسی ـ چون پیوند ئیدروژنی نتیجه به اشتراک درآمدن کامل جفت الکترون نمی‌باشد، بنابراین نمی‌توان آن را جزء پیوندهای کووالانسی دانست و چون این نوع پیوند بین یونهای مثبت ومنفی بر قرارنمی‌گردد، نمی‌توان آن را مشابه پیوند یونی درنظر گرفت.

همچنین چون ماهیت الکتریکی این پیوند نسبتاً" قوی است، آن را نیز نمی‌توان از نوع واندروالسی دانست. به همین دلیل پیوند ئیدروژنی را نوع خاصی از پیوند می‌دانیم و چون در پیدایش آن ئیدروژن دخالت‌دارد، از این‌رو نام پیوندئیدروژنی را به خود گرفته است.

اگر انرژی پیوند واندروالسی ۱ فرض شود انرژی پیوند ئیدروژنی ۱۰ و انرژی پیوند کووالانسی ۱۰۰ خواهد بود .

پیوند ئیدروژنی و توجیه خواص اختصاصی آب ـ وجود پیوند ئیدروژنی در آب را عامل مهمی در پیدایش بسیاری از ویژگیهای آن می‌دانیم، ویژگیهایی که برای زندگی انسان و سایر موجودات زنده اهمیت حیاتی دارد.

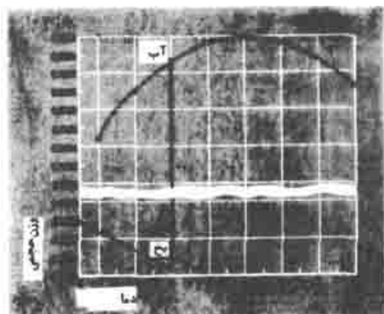
می‌دانیم آب مایعی است که درفشار متعارفی در $100^\circ C$ به جوش می‌آید و درصفر درجهٔ سانتیگراد منجمد می‌شود. گرمای ویژه و گرمای نهان تبخیر آن از مایعات دیگر بیشتر است. کشش سطحی آن به قدری زیاد است که سنگینی یک صفحهٔ نازک فلزی را بر سطح خود تحمل می‌کند. شاید صحنهٔ جالب نشستن برخی حشرات را روی سطح آب دیده باشید، مطابق شکل، می‌بینید که سطح آب زیر پای این حشره فرو می‌رود و پاره نمی‌شود.


ایستادن سنجاقک برسطح آب

اگر استکانی را کاملا" از آب پرکنید، سطح آن برجسته و کروی به نظر می‌آید که نتیجهٔ کشش سطحی زیاد آب است.

همچنین آب می‌تواند بسیاری ازترکیبات یونی مانند نمک طعام و کووالانسی قطبی مانند HCl را در خود به خوبی حل کند.

بالأخره می‌دانید که اگر آب را سرد کنیم، حجم آن تدریجا" کاهش می‌یابد و درچهار درجهٔ سانتیگراد به حداقل می‌رسد. آن‌گاه مجددا" شروع به افزایش می‌کند تا یخ ببندد.



درموقع یخ‌بستن حجم آن به طور ناگهانی زیاد می‌شود و پس از آن مانند سایر مواد بر اثر سرد کردن متوالی، کاهش حجم پیدا می‌کند.

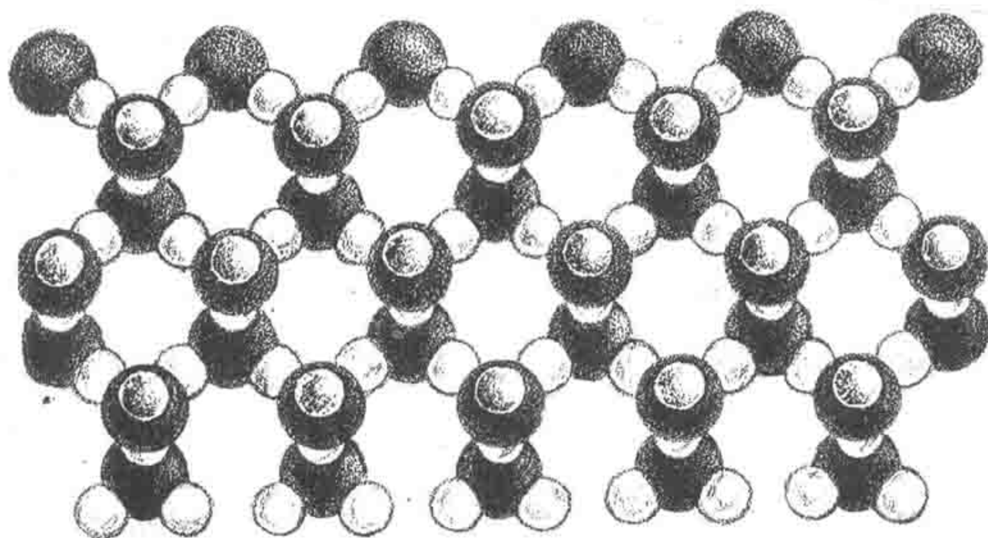
حال ببینیم چگونه می‌توان به کمک پیوند ئیدروژنی، این خواص استثنایی آب را توجیه کرد.

الف ـ گرمای ویژهٔ زیاد ـ می‌دانیم که با بالارفتن دما جنبش مولکولی زیادتر می‌شود. در مورد آب، قسمتی از انرژیی که به آن داده می‌شود، به جای آن که صرف زیادشدن جنبش مولکولی بشود، به مصرف شکسته شدن پیوندهای ئیدروژنی می‌رسد. به همین علت دمای آب دیرتر از مایعات دیگر بالا می‌رود.

ب- گرمای نهان‌تبخیر زیاد- با بالارفتن دما، بعضی از پیوندهای ئیدروژنی شکسته می‌شود وجنبش مولکولی افزایش می‌یابدولی درنقطهٔ جوش هنوزهم پیوندهای ئیدروژنی وجود دارند که برای شکستن آنها نیز مقداری انرژی اضافی لازم است. به همین علت گرمای نهان تبخیر آب ازبسیاری مایعات دیگر بیشتر است.

ج- کشش سطحی زیاد- چون وجود پیوند ئیدروژنی میان مولکولهای آب باعث ازدیاد نیروهای‌جاذبهٔ بین‌مولکولی می‌شود،از این رو بر میزان کشش سطحی مولکولهای آب می‌افزاید.

د- تغییرات نامنظم حجم- عکسبرداری به وسیلهٔ اشعهٔ ایکس از بلوریخ نشان می‌دهد که ساختمان آن بامدل زیر مطابقت دارد.



هریک ازمولکولهای آب دربلوریخ دراطراف خودباچهار مولکول دیگرپیوند ئیدروژنی بر قرارمی‌نماید. باساختن مدل سه‌بعدی می‌توان به‌آسانی وجودچهار مولکول آب را دراطراف هر یک از مولکولها تشخیص داد. به علت وجودفضای خالی در شبکهٔ بلوری وعدم امکان جا به‌جا شدن مولکولها، حجم افزایش پیدامی‌کند. در اثر گرم‌شدن درصفر درجهٔ سانتیگراد، بعضی از پیوندهای‌ئیدروژنی‌شکسته‌شده‌ودرنتیجه مولکولهای آزادشده درفضای خالی بین سایر مولکولها جای می‌گیرند. این پدیده تادمای چهار درجهٔ سانتیگراد ادامه پیدامی‌کند ودر نتیجه حجم آب‌تا $4^\circ C$ مرتبا"کم‌می‌شود. از چهار درجه به بالا بازیاد شدن جنبش مولکولی پدیدهٔ عادی انبساط نقش خود را در افزایش تدریجی حجم آب بازی می‌کند.

ح - حل‌شدن‌مواد در آب - پیوندئیدروژنی‌نقش مهمی در حل‌شدن برخی موادمانندقند و الکل ایفا می‌نماید. پدیدهٔ حل شدن را درکتاب شیمی سال آینده بررسی خواهیدکرد.

۱۶ـ ساختمان جامدها و طبقه‌بندی آنها

با اطلاعاتی که دراین فصل ازپیوندهای گوناگون و اثر آنها درپیدایش انواع جامدها، کسب کردیم می‌توانیم جامدهارا به صورت زیر طبقه بندی کنیم.

جدول خواص جامدهای بلوری

نوع جامد / خواص	بلورهای جامد یونی	بلورهای جامد مولکولی	بلورهای جامد کووالانسی[1]	بلورهای جامد فلزی
ذراتی که ساختمان بلور را به‌وجود می‌آورند	یونهای مثبت و یونهای منفی	مولکول	اتم	یونهای مثبت در دریای الکترون
نوع پیوند یا نیروی بین مولکولی	یونی	نیروی واندروالسی	پیوند کووالانسی	پیوند فلزی
نقطهٔ ذوب نسبی	زیاد	خیلی‌کم	خیلی‌زیاد	متوسط یا زیاد
هدایت الکتریکی درحالت جامد	نارسانا	نارسانا	نارسانا	رسانا
هدایت الکتریکی در مذاب	متوسط	نارسانا	نارسانا	رسانا
هدایت حرارتی	نارسانا	نارسانا	نارسانا	رسانا
چکش‌خواری و سختی	سخت وشکننده	معمولاً نرم	سخت	برخی نرم و بعضی سخت
شفافیت و جلا	شفاف	شفاف، مات	شفاف	غیرشفاف جلادار
نمونه	MgO, LiF, $NaCl$	CO_2, H_2, Cl_2	SiC, SiO_2, الماس (C)	Fe, Cu, Na

۱ ــ جامدهای کووالانسی موادی هستند که در آنها بین‌کلیهٔ اتمهای‌تشکیل دهندهٔ بلور، پیوندهای کووالانسی ایجاد شده‌است. در ساختمان این‌جامدات نمی‌توان مولکولها را به طور جداگانه از یکدیگر تمیز داد و کلیهٔ اتمها در تشکیل شبکهٔ بزرگی شرکت می‌نمایند. شکل مقابل ساختمان شبکه‌ای الماس راکه جامد کووالانسی است نشان می‌دهد.



پرسش و تمرین

۱ــ چرا ئیدروژن می‌تواند H_2 تولید کند، درصورتی که هلیم He یک اتمی باقی می‌ماند؟

۲ــ آرایش الکترونی مدل نقطه‌ای ذره‌های زیر رارسم کنید.

اتم سدیم، یون سدیم، اتم اکسیژن، یون اکسید، اتم نیتروژن، یون نیتترید.

۳ــ آرایش الکترونی مدل نقطه‌ای نمونه‌های زیر رارسم کنید:

$BeO, OF_2, CF_3\ CH_2F_2, CH_3, NCl_3, CO_2, F_2, O_2, N_2$

کدام یک از آنها هنوز آمادگی پذیرش الکترون دارد؟

۴ــ آرایش الکترونی کدام یک از اتمها و یونهای زیربا آرایش الکترونی Mg^{2+} یکسان نیست؟

الف ــ Ne ب ــ Na^+ ج ــ F^- د ــ O^{2-} هـ ــ Ca^{2+}

۵ــ نمایش اربیتالی، نقطه‌ای وساختمانی (خطی) مولکول O_2 را رسم کنید.

۶ــ چرا نیروهای دافعه میان الکترونها وپروتونهای دواتم مختلف، مانع تشکیل پیوند نمی‌شوند؟

۷ــ از لحاظ اربیتال الکترونی، چه شرایطی باید وجودداشته باشد تا یک پیوندشیمیایی میان دواتم که به یکدیگر نزدیک می‌شوند، برقرار گردد؟

۸ــ به‌طور کلی، چه‌شرایطی باعث می‌شود که دواتم ترکیب شوند تا درهریک از حالتهای زیر پیوندی به‌وجود آید؟

الف ــ پیوندی که تقریبا" کووالانسی خالص‌است.

ب ــ پیوندی که تقریبا" یونی خالص است.

ج ــ پیوندی‌که قطبی است.

د ــ مولکولی که قطبی است.

هـ ــ مولکولی که غیر قطبی است.

۹ــ با توجه‌به موقعیت منیزیم (۱۲Mg) واکسیژن (۸O) درجدول تناوبی، نوع پیوند در MgO وچندین خاصیت فیزیکی و شیمیایی برای آن پیشگویی کنید.

۱۰ــ درجدول تناوبی چه عنصری بیشترین وچه عنصری کمترین الکترونگاتیوی رادارد؟

۱۱ــ چه دلیل یا دلایلی رامی‌توان برای اثبات پایداربودن گاز بی‌اثر ارائه داد؟

۱۲ــ چگونه می‌توان ازجدول الکترونگاتیوی، برای پیشگویی ماهیت پیوند میان دوعنصر استفاده کرد؟

۱۳ــ ترکیبهای زیر را به ترتیب تنزل خصلت یونی مرتب کنید. (ازجدول الکترونگاتیوی استفاده کنید).

$LiI, BaO, AlCl_3, CsF, RbBr, K_2S, CaO, P_2S_3, F_2$

۱۴ــ چرا مولکولهای H_2 و F_2 غیر قطبی ومولکول HF دوقطبی است؟

۱۵– پیوند دو قطبی وعلت پیدایش آن را توضیح دهید.

۱۶–آیا ممکن است دریک مولکول پیوندها قطبی باشند ولی خود مولکول قطبی نباشد؟ پاسخ خودرا با ذکر مثال بیان کنید.

۱۷– A ، B ، C ، D چهار عنصر باعدداتمی متوالی هستند. عنصر D گازی است یک اتمی با نقطهٔ ذوب وجوش بسیار پایین. تمام تلاشهای آزمایشگاهی برای ساختن ترکیبی از آن بی‌نتیجه بوده‌است.

الف– کدام یک ازسه‌عنصرباقیمانده (A ، B و C) بیش ازهمه‌تمایل به‌گرفتن الکترون‌دارد؟

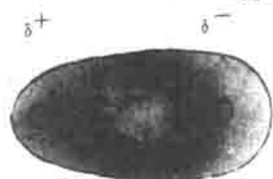
ب– فرمول ترکیب‌حاصل از فلز قلیاییM را با عنصر C بنویسید. این ترکیب بیشتریونی یا کووالانسی است؟ سایرخواص آن مانند بالا بودن یا پایین بودن نقطهٔ ذوب و قابلیت حل شدن در آب را پیشگویی کنید.

ج– فرمول ئیدریدهای عناصر A ، B و C را بنویسید، وتعیین کنید کدام قطبی و کدام غیر قطبی هستند؟

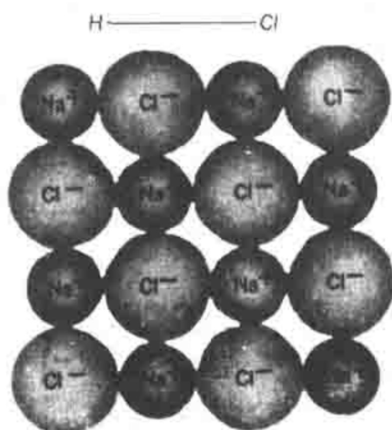
د– B ماده‌ای است‌جامد، به نظر شما آیا رسانای جریان برق است؟

۱۸– شکل مقابل (شکل الف) مولکول دو قطبی کلریدئیدروژن‌را نشان می‌دهد. علامتهای δ^- و δ^+ (دلتای‌منفی‌ودلتای‌مثبت) نشانهٔ مقدار کم بار الکتریکی منفی ومثبت هستند. شکلهای ب وج، آرایش ذره‌های تشکیل دهندهٔ بلوردو مادهٔ جامد را نشان می‌دهد. با توجه به این‌دو شکل بگویید که کدام یک ازاین دوماده زودتر ذوب می‌شود؟

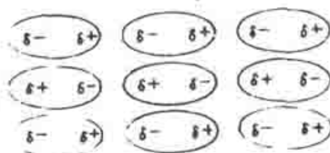
کدام یک از آنها در حالت مذاب رسانای بهتری برای جریان الکتریسیته است؟



شکل الف



شکل ج

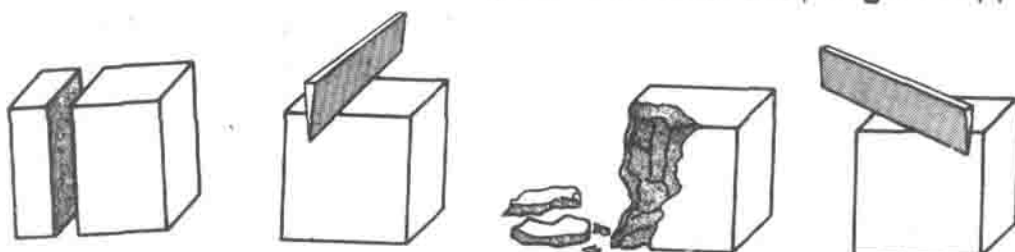


شکل ب

۱۹–گاهی فلزهارابه‌عنوان‌عناصری می‌شناسند که تعداداربیتالهای‌خالی درخارجی‌ترین سطح آنها ازتعداد اربیتالهای پُـــر شده بیشتر است. بارسم‌آرایش‌الکترونی سدیم، منیزیم آلومینیم‌این موضوع را در مورد آنها نشان‌دهید.

۲۰–چرا فلزها قابلیت مفتول شدن دارند ولی غیر فلزها ندارند؟

۲۱ــ شکل زیر شکستن بلورهای نمک‌طعام را بر اثر ضربه نشان می‌دهد، چرا در بلورسمت چپ ، شکستگی منظم و در بلور سمت راست نامنظم است ؟



۲۲ــ دوقطبی موقت بادوقطبی دائم چه تفاوتی دارند؟ برای هریک مثالی بزنید.

۲۳ــ با توجه به موقعیت عناصر درجدول تناوبی، فرمول هریک ازمواد زیررا بنویسید.

الف ــ ئیدریدسلنیم ($\underset{۳۴}{Se}$)　　　ج ــ اکسیدگالیم ($\underset{۳۱}{Ga}$)

ب ــ کلریدرادیم ($\underset{۸۸}{Ra}$)

۲۴ــ منظور ازالکترونهای غیر مستقر چیست وچرا به‌این‌اسم نامیده شده‌است ؟

۲۵ــ اهمیت ونقش پیوند ئیدروژنی را درحیات شرح دهید (مقالهٔ تحقیقی).

۲۶ــ نقطهٔ ذوب نمکهایNaF، NaCl، NaBr ، NaI به ترتیب ۹۸۸، ۸۰۱، ۷۵۵، ۶۵۱ درجهٔ سانتیگراد است. چگونه می‌توان تنزل نقطهٔ ذوب را دراین سری مواد توضیح داد؟

۲۷ــ جدول زیررا کامل کنید ؛ (ازجدول تناوبی استفاده کنید)

نام عنصر	علامت شیمیایی	عددداتمی	ذرات بنیادی			عددجرمی
			الکترون	پروتون	نوترون	
آلومینیم	Al	۱۳				۲۷
بریلیم	Be		۴			۹
بیسموت	Bi	۸۳			۱۲۶	
کلسیم	Ca			۲۰	۲۰	
کربن	C		۶		۶	
فلوئور	F		۹			۱۹
فسفر	P	۱۵			۱۶	
ید	I			۵۳		۱۲۷

۲۸ــ چرا مولکولهای فلوئورید ئیدروژن پیوند ئیدروژنی به وجود می‌آورند؟

فصل ۴

واکنشهای شیمیائی

در سالهای گذشته با مفهوم انرژی، همچنین صورتهای گوناگون و تبدیلات آنها آشنا شدید. آزمایشها و مثالهای متعددی از تبدیل انرژی‌ها به‌یکدیگر را از نظر گذرانیدید که نمونهٔ بارز آنها تبدیل انرژی الکتریکی به گرما، نور و انرژی شیمیائی بود. همان‌طوری که می‌دانید با سوختن زغال انرژی‌شیمیائی ذخیره شده به‌صورت انرژی گرمائی آزادمی‌شود. این گرما می‌تواند آب را به بخار تبدیل کرده توربین مولد برق را به حرکت درآورد و درنتیجه به‌انرژی الکتریکی تبدیل شود.

هم‌اکنون قسمت اعظم انرژی مصرف شده درکارخانه‌ها و وسائل حمل ونقل همچنین تأمین گرما و نور که لازمهٔ انجام دادن سایر کارها و تأمین رفاه بشری است، از سوختهائی چون نفت، گاز و زغال فراهم می‌گردد.

سوختن نفت، گاز و زغال نمونه‌هائی از واکنشهای شیمیائی هستند. آزاد شدن انرژی نورانی‌وگرمائی دراین واکنشها نمونه‌های آشکاری از وجود تغییرات انرژی در واکنشهای شیمیائی است.

سوختن شمع نیز نمونه‌ای از واکنش شیمیائی است. دراین‌مورد هم مانند موارد بالا ابتدا باید مادهٔ سوختنی را حرارت دهیم تا شروع به سوختن کند. با آغاز سوختن و فراهم بودن اکسیژن این عمل بدون نیاز به محرک خارجی خود به خود ادامه پیدا می‌کند. با سوختن شمع، انرژی به‌صورت گرما و نور آزاد می‌شود.

مثالهای سوختن که در بالا ذکر شد نمونه اعمالی هستند که پس از شروع به‌طور خود به خود ادامه پیدامی‌کنند. اغلب واکنشهای‌شیمیائی‌که به‌طورخود به خود انجام می‌گیرند، همراه با از دست دادن انرژی می‌باشند. تمایل برای آزاد شدن انرژی از مهمترین عوامل‌انجام یافتن واکنشهای شیمیائی است.

چون اغلب واکنشهای شیمیائی تغییرات انرژی محسوسی به همراه دارند به‌جاست که برای توصیف آنها از واحدهای انرژی گرمائی استفاده کنیم. در این مورد نیز مانند فصل قبل واحد کیلوکالری برمول را به کار می‌بریم.

محتوای انرژی مواد

دیدیم که یکی از مهمترین عوامل انجام گرفتن واکنشهای شیمیائی، آزاد شدن مقداری

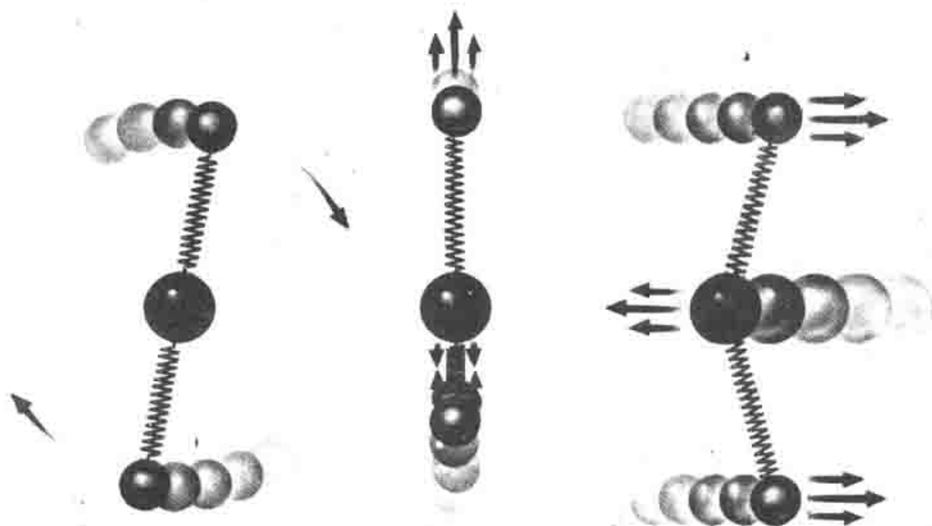
انرژی به‌صورت نوریا گرمامی‌باشد یعنی دراین عمل مواد مقداری از انرژی ذخیره شده در درون خود را از دست می‌دهند. بنابراین مجموع انرژیهای ذخیره در درون مواد حاصل از مجموع انرژیهای ذخیره شده در مواد اولیه کمتر است.

معمولا" نمی‌توان انرژیهای ذخیره شده در یک ماده را مستقیما" اندازه‌گرفت. بلکه تفاوت انرژی حاصل از انتقال یافتن آنها از وضع اولیه به وضع پایدارتر بعدی قابل اندازه‌گیری‌است.

مجموع انرژیهای ذخیره شده در یک ماده را می‌توان محتوای انرژی[1] آن ماده دانست. موادی که محتوای انرژی آنها زیاد است ناپایدارتر از آنهائی هستند که محتوای انرژی کمتری

۱ــ برای رسیدن به تصور مناسبی از محتوای انرژی یک ماده بجاست که محتوای انرژی یک مولکول آن را مورد بررسی قرار دهیم. محتوای انرژی یک مولکول شامل انواع انرژیهای جنبشی و پتانسیل می‌باشد.

انرژی جنبشی نه‌تنها مربوط به حرکت انتقالی می‌باشد، بلکه مطابق شکل، شامل انرژیهای چرخش مولکول به دور محور خود، همچنین ارتعاشهای گوناگون اجزای آن و انرژی حرکتی الکترونها می‌باشد. بدیهی است که حرکت و جنب و جوش مولکولها درحالت مایع و جامد خیلی محدودترازحالت‌گازی‌می‌باشد. انرژی پتانسیل هر مولکول نیز که اغلب به‌صورت انرژی شیمیایی جلوه می‌کند، مربوط به نیروهای رانش و ربایش میان الکترونها و هستهٔ اتمهای تشکیل دهندهٔ آن می‌باشد. شرکت یک ماده در واکنش شیمیایی و تغییر ساختمان آن همراه با تغییر نوع پیوند و بالاخره تغییر کلی محتوای انرژی آن می‌باشد.



مدلی برای‌نمایش حرکت چرخشی و ارتعاشی در مولکول CO_2.
کلوله ها نمایندهٔ اتمها و فنرها نمایندهٔ پیوندمیان آنها می‌باشد.

دارند . واکنشهای شیمیائی اغلب شامل اعمالی هستند که در آنها یک یا چند ماده ممکن است به ماده یا مواد دیگری که محتوای انرژی کمتری دارند تبدیل شوند . نتیجهٔ چنین واکنشهائی آزاد شدن مقداری انرژی و رسیدن به حالت پایدارتر است .

مثال ساده‌ای چون سوختن نوار منیزیم را در نظر می‌گیریم . . .

برای سوزاندن‌نوارمنیزیم ، تکهٔ‌کوچک‌آن‌را روی شعله می‌گیرید تا شروع به سوختن نماید . با آغاز عمل ، واکنش شدیدی رخ داده و انرژی عظیمی به صورت گرما و نور آزاد می‌گردد .



$$Mg + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow MgO + \text{انرژی}$$

بدیهی‌است‌که ‌ما‌محتوای‌انرژی‌فلزمنیزیم یا مولکولهای اکسیژن را پیش از شرکت در واکنش نمی‌دانستیم . پس از واکنش نیز محتوای انرژی گردسفیدرنگ اکسید منیزیم را نمی‌توان تشخیص داد . واقعیتی را که می‌دانیم آن است که در این واکنش ، انرژی آزاد شده است . بنا بر این می‌توان نتیجه گرفت که انرژی اکسید منیزیم کمتر از مواد اولیه است .

نمودار زیر ، موقعیت مواد اولیه و انتهایی را از لحاظ سطح انرژی نشان می‌دهد .



نمودار انرژی تشکیل اکسید منیزیم



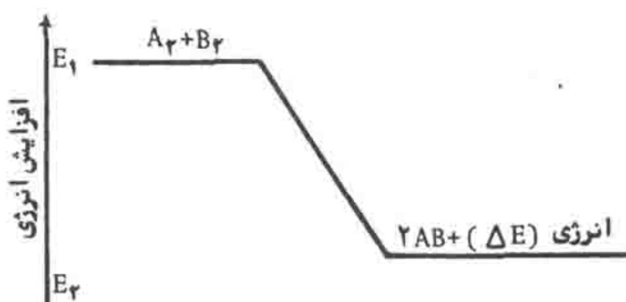
سوختن نوار منیزیم و آزاد شدن انرژی

واکنش سوختن یک مول منیزیم (گرم ۲۴ = Mg) و تشکیل یک مول اکسید منیزیم (گرم ۴۰ = MgO) همراه با آزاد شدن ۱۴۳/۸ کیلوکالری انرژی می‌باشد .

دراین‌مورد اصطلاحا" می‌گویند : گرمای مولی تشکیل MgO از مواد اولیه آن برابر ۱۴۳/۸ کیلوکالری می‌باشد .

چنین واکنشی که همراه با آزاد شدن انرژی است "واکنش گرمازا " نامیده می‌شود .

میتوان واکنش مواد A_2 و B_2 و تشکیل مادهٔ AB را از نظر محتوای انرژی با نمودارصفحه‌بعد نشان داد .



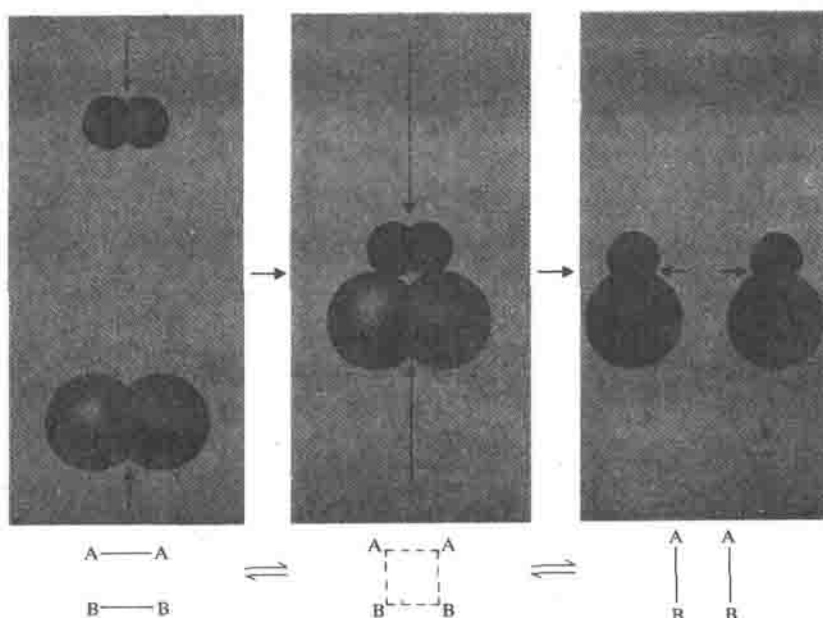
علامت Δ نشانهٔ تغییر است و ΔE تغییر در انرژی را نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهدکه محتوای انرژی ماده AB (E_2) کمترازمجموع محتوای انرژی مواد A و B (E_1) می‌باشد و می‌توان نوشت:

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

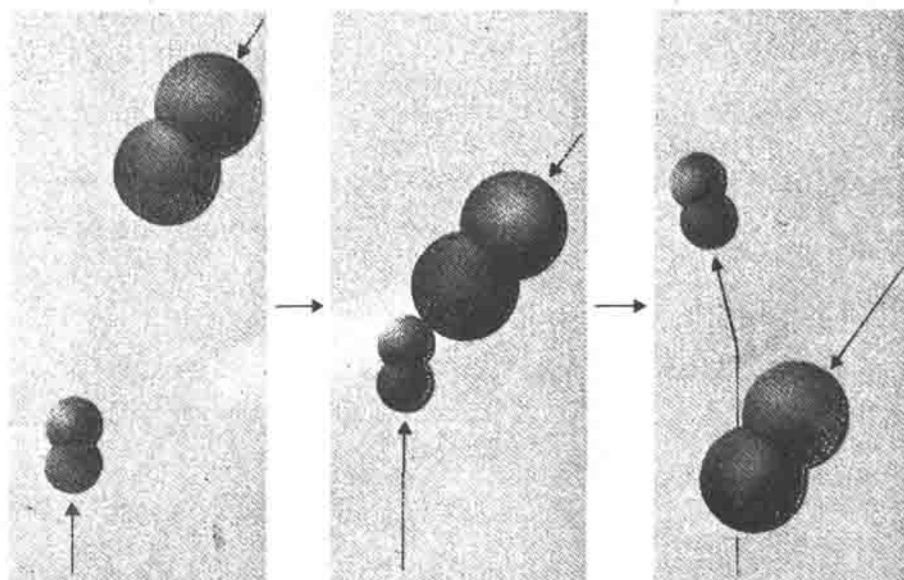
بدیهی است هرگاه بخواهیم گرمای مولی تشکیل مادهٔ AB را حساب کنیم باید ΔE را بر دو تقسیم کنیم.

چگونگی انجام واکنشهای شیمیایی و تغییرات انرژی در آنها

می‌دانیم برای‌اینکه دوماده بتوانند درواکنش شرکت کنند باید مولکولهای آنها با یکدیگر برخورد کنند. مثلا" ترکیب شدن گازهای دو اتمی A_2 و B_2 و تولید دو مولکول مادهٔ مرکب AB را می‌توان به صورت زیر نشان داد:



چنان که در شکل ملاحظه می‌شود برخورد مولکولها با یکدیگر درصورتی منجر به تشکیل ترکیب AB می‌شودکه اولا" برخورد دروضع‌مناسبی صورت گرفته باشد ، در غیر این صورت مانند شکل زیر واکنشی انجام نمی‌شود .

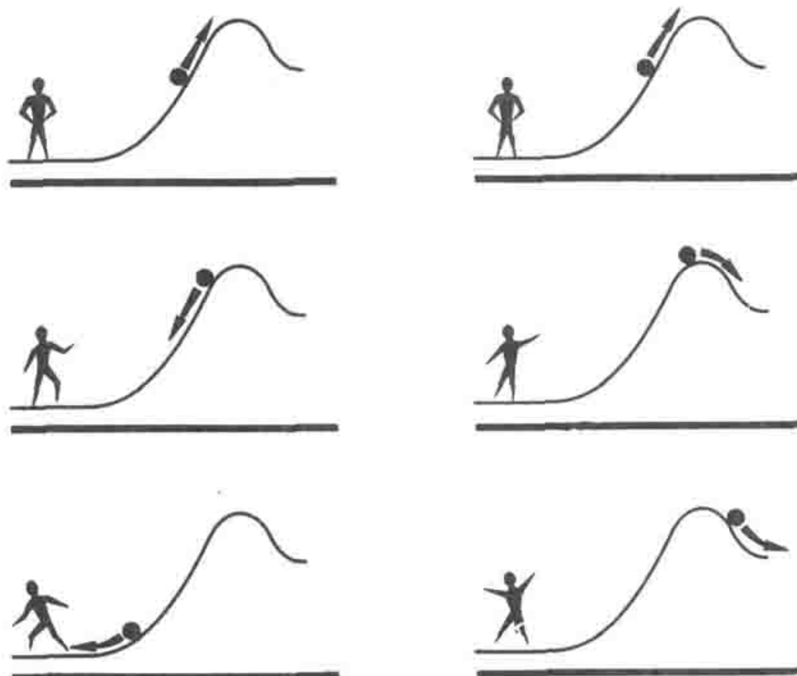


ثانیا" مولکولهایی‌که باهم‌برخوردمی‌کنند باید دارای انرژی کافی باشند تا در اثر برخورد آنها پیوندهای قبلی موجود در مولکولها شکسته شده و پیوند جدیدی تشکیل شود .

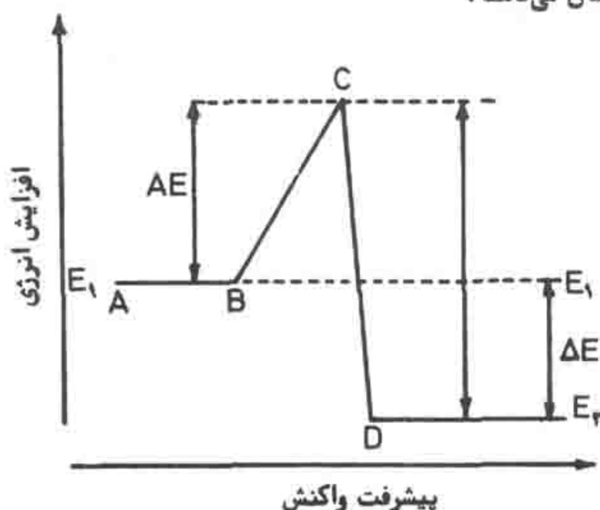
بنابراین در واکنشهای شیمیائی معمولا" لازم است که به مواد اولیه مقداری انرژی داده شود تا برخورد مولکولهای آنها مؤثر باشد . یعنی اگر انرژی آنها کافی نباشد یا برخورد آنها با وضعیت مناسبی صورت نگرفته باشد ، پس از برخورد با یکدیگر بدون آنکه واکنشی صورت‌گیرد از هم دور می‌شوند .

فرض کنید شخصی می‌خواهد گلوله‌ای را به بالای یک تپهٔ دارای شیب تند برساند . اگر به گلوله انرژی کافی داده نشود ، قبل از رسیدن به بالای تپه ، باز می‌گردد (شکلهای سمت چپ) ولی اگرانرژی‌کافی‌باشد ، گلوله پس از رسیدن به بالای تپه از طرف دیگر سرازیرمی‌شود (شکلهای سمت راست) .





یک واکنش شیمیائی را نیز می‌توان به تلاش برای بالا فرستادن گلولهٔ فلزی از تپه تشبیه کرد. نمودار زیر انرژی مصرف شده برای گسستن پیوندهای اولیه و انرژی کلی حاصل از تشکیل پیوندهای جدید را نشان می‌دهد.



سطح AB نشان‌دهندهٔ محتوای انرژی مواد اولیهٔ $(A_{۲} + B_{۲})$ می‌باشد.

BC انرژی مصرف شده برای شروع واکنش را نشان می‌دهد که بطور عمده برای شکستن پیوندهامصرف‌می‌شود. این‌مقدارانرژی‌را انرژی‌فعال‌ساز (اکتیواسیون Activation Energy)

می‌نامند .

CD نشان‌دهندهٔ مرحلهٔ تشکیل پیوند میان اتمها می‌باشد .

DE_2 محتوای انرژی مواد حاصل را نشان می‌دهد .

بنابراین عملا" مقدارانرژی آزادشده تفاوت میان انرژی حاصل از تشکیل پیوندها وانرژی مصرف شده برای شکستن پیوندها می‌باشد .

این نمودار نمایشگر خوبی برای واکنشهای شیمیائی گرمازا است در این واکنشها مجموع انرژی آزادشده بیش از انرژی جذب شده می‌باشد . مثال این‌نوع واکنشها سوختن انواع سوختها ، ترکیب سدیم با کلر و تشکیل نمک طعام یا خنثی شدن اسید با باز است که در همهٔ آنها انرژی آزاد می‌شود .

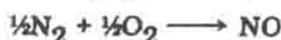
پرسش ــ با توجه به رابطهٔ $2H \longrightarrow$ انرژی + H_2 ، کدام یک از عبارات زیر درست نیست ؟

الف ــ اتمهای ئیدروژن هنگام تشکیل مولکول H_2 انرژی آزاد می‌کنند .

ب ــ گرمای حاصل از سوختن یک گرم (H) بیش از یک گرم (H_2) است .

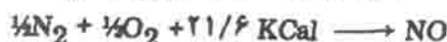
ج ــ انرژی ۲ گرم (H) کمتر از ۲ گرم (H_2) است .

مثالی از یک واکنش گرماگیر ــ این نوع واکنشها کمتر اتفاق می‌افتد . مثال آنها واکنش گاز نیتروژن با گاز اکسیژن و تشکیل گاز منواکسید نیتروژن است .



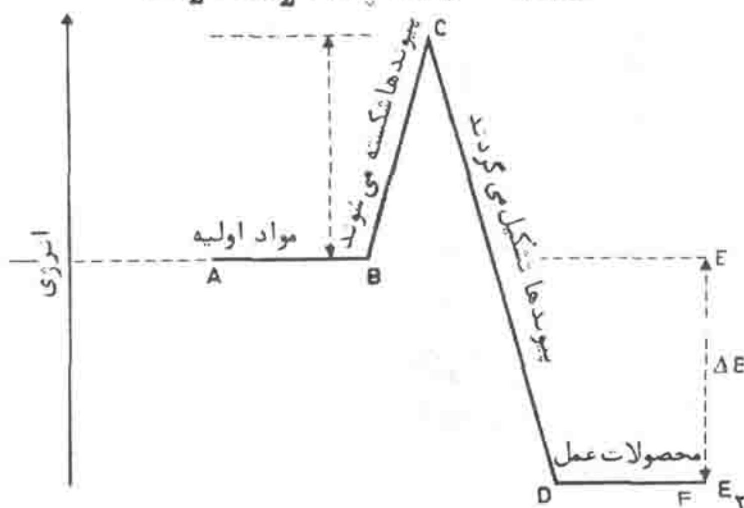
$$\tfrac{1}{2}N_2 + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow NO$$

تشکیل یک‌مول NO دراین واکنش همراه با جذب ۲۱/۶ کیلوکالری گرما می‌باشد . به همین دلیل آن را واکنش گرماگیر می‌نامند . برای نشان دادن این نکته که محتوای انرژی محصول عمل بیش از مواد اولیه است بجاست که فرمول این واکنش گرماگیر را به‌صورت :



$$\tfrac{1}{2}N_2 + \tfrac{1}{2}O_2 + ۲۱/۶\ KCal \longrightarrow NO$$

بنویسیم .



نمودار صفحهٔ قبل مراحل گوناگون واکنش گرماگیر را نشان می‌دهد .

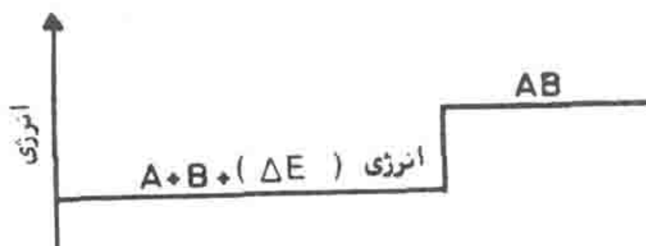
AB محتوای انرژی مواد اولیه (مولکولهای N_2 و مولکولهای O_2) ،

BC انرژی‌مصرف‌شده جهت گسستن پیوندها درمولکولهای N_2 و O_2 و تولید اتمهای مجزای N و O .

CD انرژی آزاد شده از تشکیل پیوند میان اتمهای N و O و تولید مولکولهای NO ،

و بالاخره DE محتوای انرژی محصول عمل NO می‌باشد .

نمودار سادهٔ زیر نیز برای نمایش این واکنش گرماگیر مناسب است .



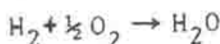
نتیجهٔ کلی حاصل از بررسیهای فوق آن است که

۱ــ عمل تشکیل پیوند همواره با آزاد شدن انرژی ، و عمل گسستن پیوند همیشه با مصرف شدن انرژی همراه می‌باشد .

۲ــ گرمای آزادشده یا گرفته شده دریک واکنش شیمیائی در حقیقت نشان‌دهندهٔ تغییرات انرژی حاصل از تغییر نوع پیوند است .

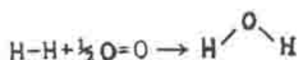
محاسبه گرمای واکنش

چنانکه دیدیم هر واکنش شیمیایی ، خواه گرمازا یا گرماگیر ، برای شروع نیاز به مقداری انرژی دارد که این انرژی برای شکسته شدن پیوندهای موجود در مواداولیه مصرف می‌شود . پس ازشروع واکنش درنتیجهٔ تشکیل پیوندها مقداری انرژی تولیدمی‌شود . گرمای هرواکنش‌درحقیقت تفاوت بین میزان انرژی تولید شده در واکنش و انرژی مصرف شده می‌باشد . برای روشن شدن مطلب بجاست که واکنش سوختن ئیدروژن و تشکیل آب را مورد بررسی قرار دهیم .



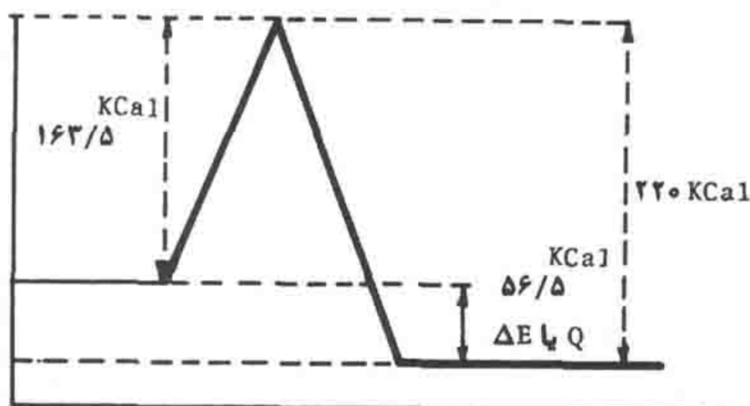
$$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$$

چنانکه ملاحظه می‌شود در این واکنش یک مول ئیدروژن با نیم‌مول‌اکسیژن ترکیب می‌شود و یک‌مول‌آب به وجود می‌آید . برای آنکه ببینیم این واکنش گرمازا یا گرماگیر است و مقدار انرژی تولید شده یا مصرف شدهٔ آن چقدر است باید از انرژی پیوندها استفاده کنیم . واکنش بالا را می‌توان به صورت زیر نوشت :



$$H{-}H + \frac{1}{2} O{=}O \rightarrow H{-}O{-}H$$

این فرمول نشان می‌دهد که در این واکنش پیوندهای موجود در یک مول ئیدروژن و نیم مول اکسیژن باید شکسته شود. انرژی لازم برای شکستن پیوند H ـ H برابر ۱۰۴ کیلوکالری و برای پیوند O = O برابر ۱۱۹ کیلوکالری است که نصف آن مساوی ۵۹/۵ کیلوکالری می‌شود. پس برای شکستن پیوندهای موجود باید جمعاً" ۱۶۳/۵ = ۵۹/۵ + ۱۰۴ کیلوکالری انرژی مصرف کرد. از سوی دیگر پس از انجام واکنش دو پیوند H ـ O تشکیل می‌شود که انرژی هر یک برابر ۱۱۰ کیلوکالری است پس رویهمرفته ۲۲۰ = ۱۱۰ × ۲ کیلوکالری انرژی تولید می‌شود. بنابراین در واکنش سوختن ئیدروژن و تشکیل آب ۲۲۰ کیلوکالری انرژی تولید شده و ۱۶۳/۵ کیلوکالری انرژی مصرف می‌شود که در نمودار زیر نشان داده شده است.



پس چنین واکنشی "گرمازا "بوده و انجام‌یافتن آن همراه با تولید ۵۶/۵ = ۱۶۳/۵ــ۲۲۰ کیلوکالری گرما به ازای تشکیل یک‌مول‌بخارآب‌است. این مقدار انرژی را معمولاً "انرژی‌واکنش" ئیدروژن با اکسیژن به منظور تشکیل بخار آب می‌دانند و همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود با علامت ΔE یا Q نشان می‌دهند.

رابطهٔ انرژی واکنش با انرژی‌های پیوندی

با توجه به نمودار و شرح بالا می‌توان نتیجه گرفت که:

انرژی واکنش مساوی با مجموع انرژیهای پیوندی مواد حاصل از واکنش منهای مجموع انرژیهای پیوندی مواد اولیه. که در مورد $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$ چنین می‌شود:

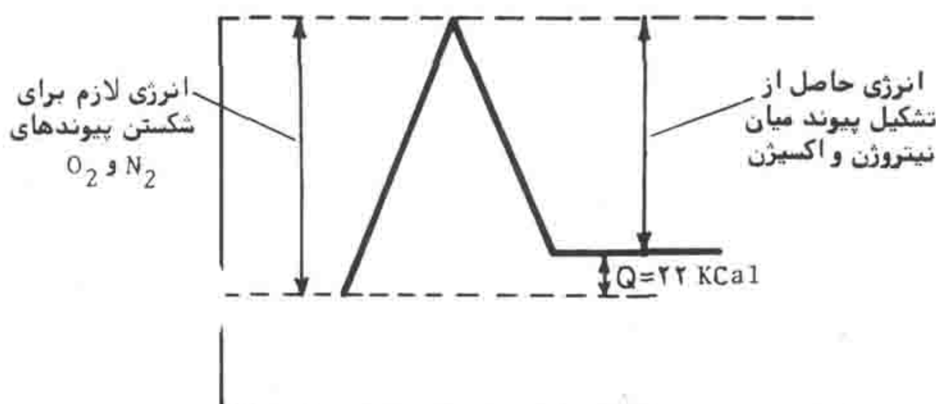
$$Q = ۲ \times ۱۱۰ - (۱۰۴ + \frac{۱}{۲} \times ۱۱۹) = ۵۶/۵ \text{ KCal/mole}$$

مثال عددی از یک واکنش گرماگیر

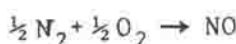
می‌دانیم‌که واکنش ترکیب نیتروژن با اکسیژن گرماگیراست و بهازای تولید هرمول منوکسید نیتروژن درحدود ۲۲ کیلوکالری گرما مصرف می‌کند. با استفاده از جدول انرژی پیوند که ضمیمهٔ

آخر کتاب است ، انرژی پیوند نیتروژن ــ اکسیژن را در NO حساب کنید .

نمودار این واکنش مطابق شکل زیر نشان می‌دهد که انرژی‌لازم برای شکستن پیوندهای N_2



و O_2 به اندازهٔ ۲۲ کیلوکالری بیش از انرژی حاصل از تشکیل پیوند میان نیتروژن و اکسیژن می‌باشد . معادلهٔ این واکنش را می‌توان به‌صورت زیر نوشت :



انرژی لازم برای شکستن پیوندها برابر است با :

۱/۲ × ۲۲۵ + ۱/۲ × ۱۱۹ = ۱۱۲/۵ + ۵۹/۵ = ۱۷۲ کیلوکالری

انرژی حاصل از تشکیل پیوندها به اندازهٔ ۲۲ کیلوکالری از انرژی بالا کمتر است یعنی :

۱۷۲ ــ ۲۲ = ۱۵۰ کیلوکالری

به عبارت دیگر انرژی پیوند NO که در این عمل حاصل می‌شود معادل ۱۵۰ کیلوکالری می‌باشد .

اندازه‌گیری گرمای سوختن یک سوخت ــ می‌توان این آزمایش را توسط دو گروه از دانش‌ــ آموزان انجام داد . یک گروه گرمای حاصل از سوختن شمع را اندازه‌می‌گیرند و گروه دوم ، گرمای سوختن الکل را می‌سنجند .

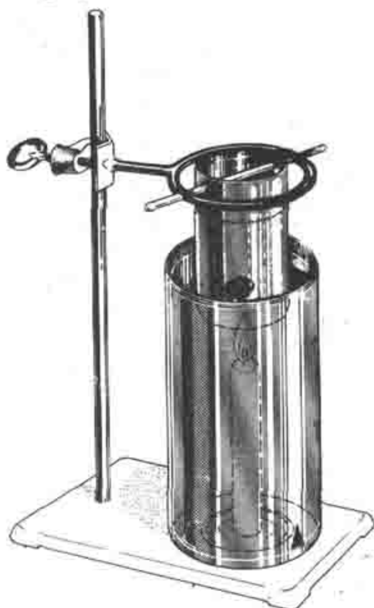
گروه اول ــ هدف از این آزمایش اندازه‌گیری گرمای حاصل از سوختن یک گرم شمع است . برای این منظور گرمای حاصل از سوختن مقدار معینی از یک شمع را به مقدارمعینی آب می‌دهیم و از روی اختلاف دمای آن ، مقدار حرارت را حساب می‌کنیم .

ابزارومواد مورد نیاز : قوطی حلبی ، دماسنج ، استوانهٔ مدرج ، ترازو ، پایه‌وگیره ، شمع .

یک شمع معمولی را روی در قوطی حلبی بچسبانید و آن را به دقت وزن کنید . دستگاهی مطابق شکل صفحهٔ بعد سوار کنید .

در حدود ۲۵۰ سانتیمتر مکعب آب در قوطی حلبی بریزید و دمای آب را به کمک یخ به ۱۰ تا۱۵درجه پایین‌تر از دمای اتاق برسانید . برای این منظور تکه‌های یخ را درقوطی انداخته

و با دماسنج به هم بزنید. وقتی که دمای مناسب حاصل شد، تکه‌های یخ را بیرون بیاورید. دما را یادداشت‌کنید. شمع‌را روشن کرده و در جای خود قراردهید. آب را به ملایمت به هم بزنید تا دمای آن به حدود ۱۰ تا ۱۵ درجه بالاتر از دمای اتاق برسد.



شمع را به آهستگی خاموش کرده و دماسنج را همچنان در داخل آب تکان دهید (چرا؟) و بالاترین دما را یادداشت کنید. شمع را مجدداً وزن کنید تا وزن شمع مصرف شده معین گردد.

آب درون قوطی را در استوانهٔ مدرج بریزید و حجم آن را به دقت معین کنید.

ثبت نتایج آزمایش ــ مشاهدات و نتایج آزمایش خود را در دفترچهٔ آزمایشگاه یادداشت کنید.

وزن اولیهٔ شمع و در قوطی =

وزن شمع و در قوطی پس از سوختن شمع =

کمبود وزن (وزن شمع مصرف شده) =

حجم آب درون قوطی (وزن آب) =

دمای اولیه =

دمای ثانویه =

تفاوت دما =

گرمای تولید شده = وزن آب × تفاوت دما = ... کالری

$$\text{گرمای سوختن شمع} = \frac{\text{گرمای تولید شده}}{\text{وزن شمع مصرف شده}} = \text{.... کالری بر گرم}$$

نتیجهٔ بدست آمده معمولاً به علت خطاهای مختلف کاملاً دقیق نیست. منابع خطا را

مشخص کرده و برای بهبود نتیجهٔ آزمایش پیشنهاداتی ارائه دهید .

گروه دوم ـ اندازه‌گیری گرمای سوختن الکل ـ دستور کار آزمایش کاملا" شبیه آزمایش قبلی است . دستگاه را نیز مطابق شکل دستگاه قبل سوار کنید و بجای شمع از یک چراغ الکلی استفاده کنید .

سرعت واکنشها

در زندگی روزانه به بسیاری از واکنشهای شیمیایی برخورد می‌کنیم . برخی از این واکنشها به قدری شدید است که فورا" توجه ما را جلب می‌کند ولی از کنار بعضی دیگر بدون هیچ تأملی می‌گذریم . به عنوان مثال اگر در یک نقطه آتش سوزی رخ داده باشد ، واکنش شیمیایی شدید سوختن کاملا" آشکار است و ممکن است از فاصلهٔ دور نیز دیده شود درحالی‌که نظیر همین عمل یعنی ترکیب‌شدن با اکسیژن نیز درمورد یک تکه آهن که درحال زنگ زدن است انجام می‌گیرد ، بدون آن که مورد توجه فوری ما قرار گیرد .

اگر یک تکه پشم‌فلزی (سیم ظرف‌شویی) نرم را روی شعله بگیرید ، پس از چند لحظه شروع به سوختن می‌کند . درحالی‌که همان پشم فلزی در هوای مرطوب به کندی زنگ می‌زند . سؤال مهمی‌که دراین‌مورد مطرح می‌شود این است که چرا ترکیب‌شدن آهن با اکسیژن در دو مورد فوق با سرعتهای متفاوت انجام می‌گیرد ؟ یعنی چرا در مورد اول آهن به سرعت با اکسیژن ترکیب شده و به اکسید آهن تبدیل می‌شود ولی در مورد دوم همین عمل در زمان طولانی‌تری انجام می‌گیرد .

انسان همیشه در جستجوی راهی بوده است تا بتواند سرعت واکنشهای شیمی را زیاد یا کم کند . اجداد ما آموخته بودند که تکه‌های کوچک چوب سریعتر از تنهٔ بزرگ درخت می‌سوزند و حرارت تولید شده از آنها بیشتر است و باعث می‌شود که غذا سریعتر پخته شود . آنان بیشتر روشهای کم یا زیاد کردن سرعت را از طریق تجربه و دوری از خطا پیدا کرده بودند .

با وجود پیشرفتهای امروزی ، هنوزهم درپاره‌ای موارد دانشمندان به دقت نمی‌دانند چرا یک عامل یا ماده به خصوص ، باعث زیاد شدن سرعت واکنش می‌گردد ، یا مواد اولیهٔ شرکت ـ کننده درواکنش ازچه‌مراحلی می‌گذرند تا به محصول عمل تبدیل شوند . مطالعهٔ سرعت واکنشها ما را در کشف این مراحل یاری می‌کند . یک معادلهٔ شیمیایی موازنه شده نمی‌تواند بازگوکنندهٔ تمام داستان واکنش باشد ، کلید این معما در مراحل بین مصرف شدن مواد اولیه و پیدایش محصولات نهایی عمل نهفته است . با کشف این راز می‌توان سودمندی یک واکنش شیمیایی را افزایش داد .

مفهوم سرعت واکنش و اندازه‌گیری آن

برای درک مفهوم سرعت واکنش ابتدا به بررسی چند واکنش معمولی و چند آزمایش ساده

می‌پردازیم .

آزمایش ــ ابزاروموادموردنیاز : لولهٔ آزمایش ، میخ کوچک آهنی ، نوارمنیزیم ، اسید کلریدریک .

دو لولهٔ آزمایش انتخاب کنید و در هر یک تا ارتفاع تقریبی ۴ سانتیمتر اسید کلریدریک بریزید . دریکی‌ازلوله‌ها یک‌میخ‌آهنی و درلولهٔ دیگر تقریبا" ۳ سانتیمتر نوار منیزیم بیندازید . در کدام لوله گاز ئیدروژن سریعتر تولید می‌شود ؟

معادلهٔ شیمیائی واکنشهای انجام شده را بنویسید .

.... + ... → ....

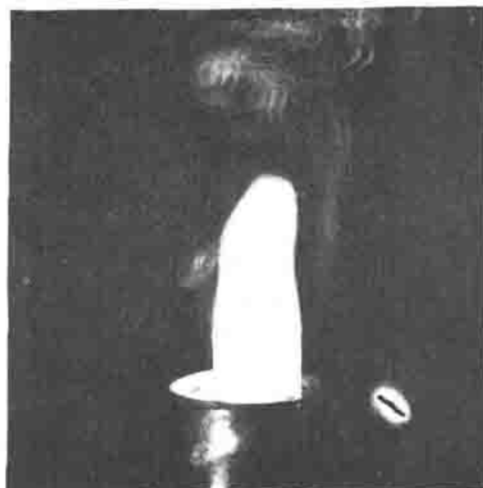
.... + ... → ....

آیا سرعت انجام واکنش در این دو مورد با هم مساوی است ؟

در بسیاری از واکنشها ، سرعت واکنش را می‌توان از روی سرعت ناپدید شدن مواد اولیه یا سرعت تشکیل محصول واکنش اندازه‌گیری کرد . ولی باید توجه داشت که سرعت واکنش در لحظه‌های مختلف با هم تفاوت دارد . به شکلهای زیر که مربوط به قراردادن یک تکه فسفر سفید در هواست توجه کنید .

در شروع عمل (شکل سمت چپ) واکنش کند است . چون درابتدا انرژی آزاد شده کم است ولی به تدریج بر مقدار آن افزوده می‌گردد و پس از مدتی فسفر شعله‌ورمی‌شود . بنابراین واکنش سوختن فسفر در ابتدا دارای سرعت کمتر بوده ولی به تدریج سرعت آن زیاد شده‌است . بدیهی است که پس از مدتی از شروع واکنش به علت کم شدن مقدار ماده ، سرعت کم می‌شود .

چند واکنش شیمیایی دیگر را که در زندگی با آنها سر و کار داشته‌اید مثال بزنید که در لحظات مختلف دارای سرعت متفاوت باشند .





در بیان سرعت واکنشها معمولاً سرعت متوسط به کار می‌برند. سرعت متوسط واکنش را می‌توان تعداد مولهای مادهٔ ناپدید شده یا تولید شده در واحد زمان دانست.

آزمایش (گروه اول) ــ ابزار و مواد مورد نیاز: لولهٔ آزمایش، کرونومتر یا ساعت دارای عقربهٔ ثانیه شمار، خط‌کش، نوار منیزیم، اسید کلریدریک تقریباً ۲ مولار.

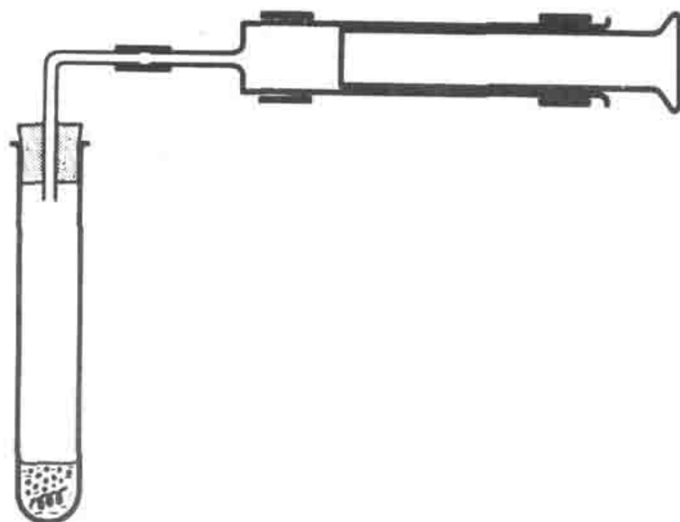
در حدود ۲ سانتیمتر مکعب اسید کلریدریک را در لولهٔ آزمایش بریزید و یک تکه نوار منیزیم به طول ۲ سانتیمتر را که قبلاً وزن شده است[1]، در لولهٔ آزمایش بیندازید و بلافاصله زمان را یادداشت کنید (یا کرونومتر را به کار بیندازید). صبر کنید تا تمام منیزیم در اسید حل شود. چه مدت زمان لازم است تا تمام منیزیم در اسید حل شود؟ نتایج آزمایش را به‌صورت زیر در دفترچهٔ آزمایشگاه خود یادداشت کنید.

گرم = وزن یک متر نوار منیزیم × ۰/۰۲ متر = وزن ۲ سانتیمتر نوار منیزیم

مول = $\frac{\text{وزن ۲ سانتیمتر نوار منیزیم}}{\text{(وزن یک مول منیزیم) ۲۴}}$ = تعداد مولهای منیزیم

ثانیه = زمان لازم برای انجام واکنش

مول بر ثانیه = $\frac{\text{تعداد مولهای منیزیم}}{\text{زمان}}$ = سرعت متوسط واکنش



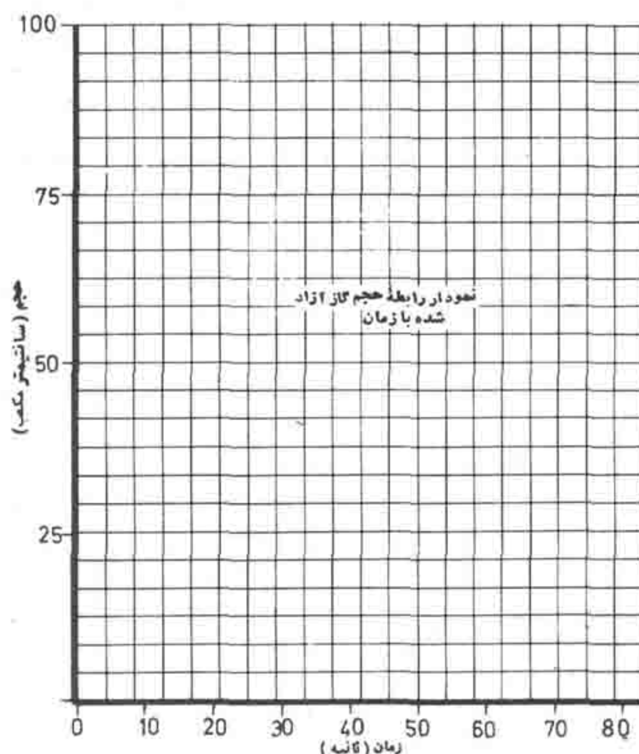
۱ــ یک راه آسان برای تعیین وزن نوار منیزیم، توزین یک متر نوار و بریدن آن به تکه‌های ۲ سانتیمتری است.

آزمایش (گروه دوم) ــ ابزار و مواد مورد نیاز: لولهٔ آزمایش، سرنگ گازی ۱۰۰ ^{CC} (شیشه‌ای یا پلاستیکی)، کرونومتر یا ساعت دارای عقربهٔ ثانیه‌شمار، نوارمنیزیم، اسیدکلریدریک ۲ مولار.

درحدود ۲ سانتیمترمکعب اسید کلریدریک را در لولهٔ آزمایش بریزید و دستگاه را مطابق شکل سوار کنید. ۲ سانتیمتر نوار منیزیم را در اسید بیندازید و دهانهٔ آن را فوراً ببندید. زمان شروع واکنش را یادداشت کنید. نتایج آزمایش را در جدول مشابه جدول زیر ثبت کنید و با استفاده از آن ابتدا سرعت متوسط واکنش را حساب کنید:

زمان (ثانیه)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰
حجم ئیدروژن آزاد شده						

$$\text{سرعت متوسط واکنش}^{1} = \frac{\text{تعداد مولهای ئیدروژن آزاد شده}}{\text{زمان}}$$



۱ــ در واکنش اسید کلریدریک با منیزیم مطابق معادله زیر:

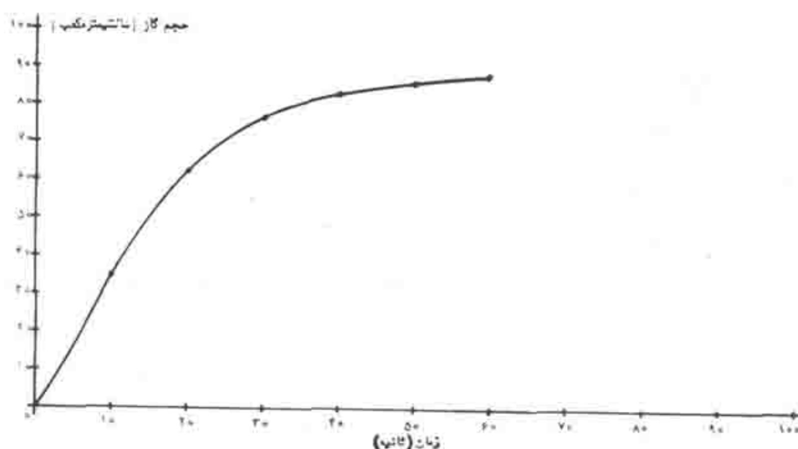


$$Mg + 2HCl \longrightarrow MgCl_2 + H_2$$

نتایج خود را با نتایج به دست آمده بهوسیلهٔ دانش‌آموزان گروه اول مقایسه کنید. آیا نتایج یکسان است؟ درصورتی که جواب منفی است آیا می‌توانید عوامل خطا را پیدا کنید؟

پس از محاسبهٔ سرعت واکنش، با همکاری افراد گروه اول نمودار حجم ئیدروژن (V) را برحسب زمان (T) رسم کنید (مطابق شکل زیر حجم را روی محورقائم و زمان را روی محورافقی در نظر بگیرید.)

نمودار زیر بهوسیلهٔ دانش‌آموزی برای آزمایشی که به همین منظور انجام داده‌است، رسم شده است نمودار خود را با آن مقایسه کنید.



چنان که دیدیم سرعت متوسط واکنش را می‌توان تعداد مول مادهٔ تولید شده یا مصرف‌ـ شده درواحدزمان‌دانست. باید توجه داشت که واحدزمان اختیاری است و بستگی به نوع واکنش دارد. مثلا" برای واکنشی نظیر انفجار مخلوط گاز سوختنی با هوا بهتر است که واحد زمان میکروثانیه استفاده کرد ولی برای واکنشی نظیر اسید کلریدریک بر منیزیم یا آهن و یا واکنش سوختن شمع می‌توان واحد ثانیه یا دقیقه را به کار برد. اگر بخواهیم سرعت واکنش زنگ زدن معمولی آهن را اندازه‌گیری کنیم، هیچ کدام از واحدهای فوق مناسب نیستند و باید از واحد روز یا ماه استفاده کنیم.

هرگاه سرعت متوسط واکنش را یک بار بر اساس منیزیم مصرف شده و بار دیگر نسبت به HCl به کار رفته حساب کنیم، می‌بینیم که سرعت نسبت به HCl دو برابر سرعت نسبت به منیزیم است. بدیهی است که تفاوت ظرفیت باعث این اختلاف می‌شود. بنابراین در این گونه موارد هرگاه بخواهیم ازتعریف سادهٔخود دربارهٔ سرعت واکنش استفاده کنیم بجاست نوع ماده‌ای را که سرعت نسبت به آن سنجیده شده است، بیان کنیم.

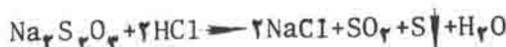
عوامل مؤثر برسرعت واکنش

حال که با مفهوم سرعت واکنش و چگونگی اندازه‌گیری آن آشنا شدیم بجاست به بررسی عواملی که سرعت واکنش را کم یا زیاد می‌کنند بپردازیم .

اثر دما

آزمایش ــ ابزار و مواد مورد نیاز: ارلــن ، استوانه مدرج ، کرونومتر یا ساعت دارای ثانیه‌شمار ، کاغذ صافی ، محلول اسید کلریدریک تقریبا" ۲ مولار ، محلول تیوسولفات سدیم تقریبا" ۰/۴ مولار .

در این آزمایش اسید کلریدریک بر تیوسولفات سدیم اثر کرده گوگرد آزاد می‌کند که در محلول شناورشده آن را شیری رنگ می‌کند . بدیهی است که هرقدر مقدار گوگرد آزاد شده بیشتر باشد محلول کدرتر می‌شود :



$$Na_2S_2O_3 + 2HCl \longrightarrow 2NaCl + SO_2 + S\downarrow + H_2O$$

برای انجام آزمایش ابتدا روی کاغذ صافی با خودکار یک علامت ضربدر (×) بکشید و ارلن را روی آن قرار دهید ، در داخل ارلن 50^{cc} محلول تیوسولفات بریزید و 5^{cc} محلول اسید کلریدریک به آن اضافه کرده فورا" زمان را یادداشت کنید . ارلن را تکان داده و در جای خود روی علامت ضربدر قرار دهید و از بالا به آن نگاه کنید تا علامت ضربدر دیگر دیده نشود . آزمایش را تکرار کنید ولی این بار محلول تیوسولفات را قبل از آزمایش روی شعله نگهدارید تا گرم شود . مشاهده خواهید کرد که درآزمایش دوم علامت ضربدر (×) زودتر ناپدید خواهد شد .

حال ببینیم چگونه می‌توان افزایش سرعت واکنش را با زیاد شدن دما توضیح داد . دیدیم که شرط انجام واکنش برخورد مؤثر بین مولکولهای اولیه است و برخورد درصورتی مؤثر خواهد بود که اولا" این برخورد با وضعیت مناسبی صورت گیرد ثانیا" مولکولها درلحظهٔ برخورد دارای انرژی کافی باشند . می‌دانیم که با افزایش دما جنبش مولکولی زیاد می‌شود و احتمال برخورد مولکولها با یکدیگر نیز بیشتر می‌شود . چون با بالا رفتن دما انرژی مولکولها نیز زیاد شده است در نتیجه برخوردهای مؤثر بیشتر شده و در واحد زمان تعداد بیشتری مولکول در واکنش شرکت می‌کند یعنی سرعت واکنش زیادتر می‌شود .

تمرین ــ آزمایشهای مختلف نشان می‌دهد که افزایش هر ۱۰ درجه سانتیگراد دما سرعت واکنش را تقریبا" ۲ برابرمی‌کند . اگر برای انجام یک واکنش در °۳۰ سانتیگراد ۱۲۸ دقیقه زمان لازم باشد برای انجام آن در °۹۰ سانتیگراد چه مدت زمان لازم است .

اثر غلظت ، نوع مواد ، اندازه و سطح تماس

آزمایش ــ ابزار و مواد مورد نیاز : لولهٔ آزمایش ــ اسید کلریدریک غلیظ[1] ــ اسید کلریدریک ۲ مولار ــ اسید استیک ۲ مولار ــ نوار منیزیم ــ پودر منیزیم .

درچهارلولهٔ آزمایش به ترتیب در حدود 5^{cc} اسید کلریدریک ۲ مولار ، اسید کلریدریک غلیظ ، اسید استیک ۲ مولار ــ اسید کلریدریک ۲ مولار بریزید و در لولههای اول و دوم و سوم در حدود ۲ سانتیمتر نوار منیزیم تمیز شده بیندازید و در لولهٔ چهارم مقدار خیلی کمی پودر منیزیم بریزید و لوله را تکان دهید . مشاهده خواهید کرد که سرعت ناپدید شدن نوار منیزیم در لولهٔ دوم از لولهٔ اول بیشتر است .

چه تفاوتی بین محلولهای موجود در لولهٔ اول و دوم وجود دارد ؟ چه عاملی باعث شده است که سرعت واکنش در لولهٔ دوم از لولهٔ اول بیشتر باشد ؟ آیا می‌توانید علت را با استفاده از تئوری مولکولی توضیح دهید ؟

سرعت ناپدید شدن منیزیم در لولهٔ سوم کمتر از لولهٔ اول خواهد بود .

معادلهٔ واکنشهای انجام شده را تکمیل و موازنه کنید :





در این مورد چه عاملی باعث کم شدن سرعت واکنش شده است ؟ علت را توضیح دهید .

واکنش در لولهٔ چهارم با سرعت بیشتری نسبت به لولهٔ اول صورت می‌گیرد . چه عاملی باعث زیاد شدن سرعت واکنش شده است ؟ علت را توضیح دهید .

اثرکاتالیزور ، آزمایش ــ ابزار و مواد موردنیاز : ارلن ، استوانهٔ مدرج ، بورت ، سرنگ گازی ، (دستگاه مطابق شکلهای زیر) ، محلول پراکسیدئیدروژن ۲۰ حجم ، دی اکسید منگنز .

اگر سرنگ گازی دراختیاردارید که بهتراست با آن آزمایش را انجام دهید و اگر دراختیار نیست از بورت یا استوانهٔ مدرج استفاده کنید .

۲ سانتیمتر مکعب پراکسید ئیدروژن را در ارلن بریزید و در حدود ۴۸ سانتیمترمکعب آب به آن اضافه کنید . آیا حباب گازی مشاهده می‌کنید ؟

نصف قاشق چایخوری دی‌اکسیدمنگنز در ارلن بریزید و دهانهٔ آن را فوراً ببندید . زمان را فوراً یادداشت کنید . ارلن را کمی تکان داده و هر ۱۰ ثانیه یک بار حجم گاز اکسیژن را یادداشت کنید . نمودار حجم اکسیژن تولید شده برحسب زمان را رسم کنید . (مانند نمودار حجم ئیدروژن برحسب زمان در آزمایش اثر اسید کلریدریک بر منیزیم) . به نظر شما آیا مقدار دی‌اکسیدمنگنز تغییری کرده است ؟ رنگ آن چطور ؟ آیا این واکنش بدون دی‌اکسیدمنگنز امکان ــ

۱ــ اسیدکلریدریک غلیظ آزمایشگاه در حدود ۱۳ مولار و دودکننده است برای این آزمایش می‌توانید 4^{cc} آن را با 1^{cc} آب مخلوط کنید .

گیرهٔ سرنگ

گیره

پراکسید ئیدروژن

دی اکسید منگنز

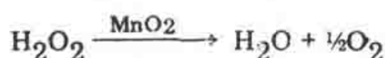
پراکسید ئیدروژن

دی اکسید منگنز

تهیهٔ گاز اکسیژن و جمع‌آوری آن

پذیر بود؟ دی اکسید منگنز در این واکنش چه نقشی دارد؟

چنان که در سالهای پیش دیده‌اید موادی که در واکنشهای شیمیایی باعث تغییر سرعت واکنش می‌شوند و در پایان عمل بدون تغییر باقی می‌مانند، کاتالیزور نامیده می‌شوند. در این آزمایش نیز دی اکسید منگنز در واکنش تجزیهٔ پراکسید ئیدروژن اثر کاتالیزوری دارد:



$$H_2O_2 \xrightarrow{MnO_2} H_2O + \frac{1}{2}O_2$$

تمرین

۱ــ در ترکیب یک فلز با گوگرد و تولید سولفید فلز، کدام یک از عوامل زیر کمترین اثر را در تسریع واکنش دارد؟

الف ــ فعالیت شیمیایی فلز، ب ــ دما، ج ــ فشار، د ــ نرم کردن گوگرد.

۲ــ چرا افزایش غلظت یک یا چند مادهٔ شرکت‌کننده در واکنش باعث ازدیاد سرعت آن می‌شود؟

۳ــ می‌دانید که واکنش پودر روی با اسید کلریدریک سریعتر از واکنش تکه‌های آن با اسید

می‌باشد.

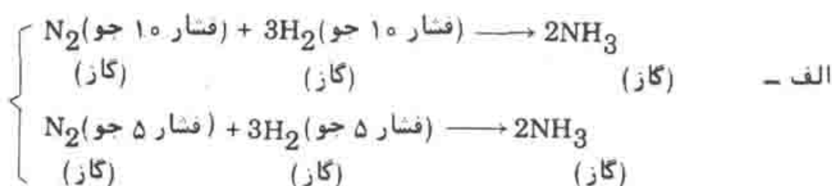
کدام یک از عوامل زیر باعث این خاصیت می‌باشد؟

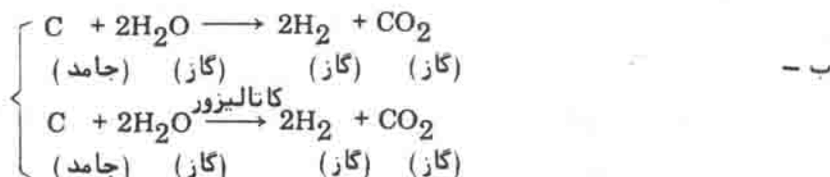
الف ــ غلظت ، ب ــ دما ، ج ــ فعالیت شیمیایی ، د ــ سطح تماس.

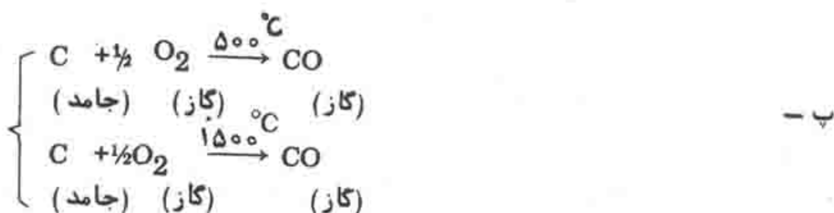
۴ــ غلظت یکی‌از مواد شرکت کننده در واکنش در طی ۳۰ دقیقه از ۰/۰۵ مول به ۰/۰۲۵ مول کاهش یافته است . سرعت واکنش را حساب کنید .

۵ــ چرا کبریت روشن را در نفت بیندازیم ، خاموش می‌شود ولی اگر در بنزین بیندازیم ، بنزین فوراً آتش می‌گیرد؟

۶ــ کدام یک از جفت واکنشهای زیر سریعتر انجام می‌گیرد؟ پاسخ خود را توضیح دهید .







۷ــ چرا برای فراهم‌نمودن‌آتش از زغال ، روی آن اندکی نفت می‌ریزند یا این که بوته‌های کوچک و تراشه‌های‌چوب‌را روی‌آن می‌ریزند و آتش می‌زنند؟ چرازغال‌را مستقیماً"آتش نمی‌زنند؟

۸ــ نمودار انرژی یک واکنش را یک مرتبه بدون کاتالیزور و در مرتبهٔ دوم با کاتالیزور رسم کنید .

۹ــ دو تکه کلسیم خالص را که وزن تقریبی هر یک ۰/۲ گرم است انتخاب کرده‌ایم . یکی از تکه‌ها را در ظرفی که دارای مقدار زیادی آب است وارد کرده و تکهٔ دیگر را در ظرف دیگری که دارای مقدارزیادی محلول رقیق اسیدکلریدریک است انداخته‌ایم . حجم‌ئیدروژن تولید شده را در زمانهای مختلف اندازه گرفته و نتایج را در جدول صفحهٔ بعد ثبت کرده‌ایم .

زمان از آغاز عمل تا خاتمهٔ آن (برحسب ثانیه)	۱۰	۲۰	۳۰	۵۰	۶۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰
حجم کل ئیدروژن حاصل از آب (برحسب سانتیمترمکعب)	۶	۱۲	۲۰	۴۰	۵۴	۸۸	۱۰۹	۱۱۹	۱۲۰
حجم کل ئیدروژن حاصل از محلول اسید برحسب سانتیمتر مکعب	۲۴	۵۰	۸۰	۱۱۶	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰

الف ـ نمودار حجم ئیدروژن تولیدشده (محور عمودی) را برحسب زمان (محور افقی) رسم کنید.

ب ـ از روی نمودار فوق حجم ئیدروژن را پس از ۴۰ ثانیه و پس از ۷۰ ثانیه تعیین کنید.

ج ـ در کدام آزمایش، سرعت واکنش در آغاز عمل بیشتر است؟

د ـ در کنار هر یک از دو نمودار، نمودار فرضی دیگری به صورت نقطه‌چین رسم کنید که نشان‌دهندهٔ نتایج همان آزمایش در دمای پایین‌تر باشد.

هـ ـ اگر محلول غلیظ‌تر اسید کلریدریک به کار می‌بردیم، حجم گاز ئیدروژن پس از ۶۰ ثانیه چقدر می‌شد؟ (انجام دادن این آزمایش در شرایط کنترل نشده خطرناک است).

و ـ وزن تقریبی کلسیم باقیمانده از هر آزمایش پس از ۶۵ ثانیه چقدر است؟

ز ـ تعداد مولهای کلسیم مصرف شده و ئیدروژن تولید شده در هر واکنش را حساب کنید و با استفاده از آن معادلهٔ واکنشهای لازم را نوشته و موازنه کنید (حجم یک مول ئیدروژن را در شرایط آزمایش ۲۴ لیتر در نظر بگیرید).

۱۰ـ با استفاده از جدول انرژی پیوند گرمای واکنش‌های زیر را محاسبه کنید (همه مواد گازی شکل هستند).

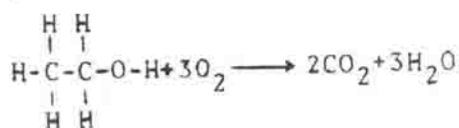

$H_2 + Br_2 \longrightarrow 2HBr$


$H_2 + Cl_2 \longrightarrow 2HCl$


$H_2 + F_2 \longrightarrow 2HF$

۱۱ـ میدانید که قسمت عمدهٔ الکل صنعتی که در آزمایشگاه به‌عنوان سوخت درچراغ‌الکلی

مصرف می‌شود الکل معمولی (C_2H_5OH) است . فرمول سوختن کامل آن را میتوان بصورت زیر نوشت :



$$H_3C{-}CH_2{-}O{-}H + 3O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 3H_2O$$

با استفاده از جدول انرژی پیوند تعیین کنید که از سوختن هر گرم الکل چند کیلو کالری گرما تولید می‌شود .

فصل ۵

تعادلهای شیمیائی

۱- پیش‌گفتار

شیمی نه فقط با شناخت مواد سر و کار دارد بلکه شامل بررسی تغییرات آنها نیز می‌باشد. در جهان ریز و "میکروسکوپی" اتمها و مولکولها، دانستید که چگونه همه‌چیز در حرکت جاودانی و جنب‌وجوش‌دائم‌است. با مواردی که آشنا شدید درآنها اتمها به یکدیگر نزدیک شده و یا از هم دور می‌شوند. با موارد دیگری برخورد کردید که اتمها با یکدیگر ترکیب می‌شوند و مولکولهایی پدید می‌آورند و یا این که مولکولها تفکیک می‌شوند و اتمهای اولیه را به وجود می‌آورند. در مقیاس درشت و "ماکروسکوپی" نیز همواره ناظر تغییرات مواد بوده‌ایم. چگونگی تغییرات زیر را در نظر بگیرید.

ــ یخ بر اثر گرما ابتدا آب شده و سپس تبخیر می‌گردد. بخار آب نیز بر اثر سرما ابتدا مایع شده و سپس منجمد می‌گردد.

ــ در نوشابه‌های گازدار، گاز دی اکسید کربن را تحت فشار به‌صورت محلول در مایع نگاه می‌داریم. با باز کردن در شیشه و کم شدن فشار، حبابهایی خارج می‌شود.

ــ مواد شیمیایی موجود در باطری اتومبیل، هنگام تولید جریان‌الکتریسیته، به تدریج به مواد دیگری تبدیل می‌شوند. با شارژ شدن باطری، واکنشهای معکوس انجام گرفته و مواد اولیه مجدداً" پدید می‌آیند.

ــ دم زدن موجودات زنده و مصرف کردن انواع سوختها، گاز دی اکسید کربن فراوان در محیط زیست وارد می‌کند. در مقابل آن، عمل کربن‌گیری گیاهان، مقادیرعظیمی دی‌اکسیدکربن مصرف می‌نماید.

برقرار شدن "تعادل" میان تولید و مصرف این گاز و ثابت ماندن نسبت آن در هوا برای جانداران اهمیت حیاتی دارد.

اغلب تغییرات درجهان پیرامون ما (دو طرفه) است. هرگاه چنین نبود و همه چیز در یک جهت برگشت‌ناپذیر تغییر می‌کرد، طبیعت مفهوم دیگری پیدا می‌کرد.

بسیاری تغییرات پیرامون ما مشهود و محسوس بوده و تعدادی نیز مستقیماً" قابل رؤیت نیستند. دانستنیهای شما از شیمی تاکنون در حدی بوده است که واکنش شیمیایی میان دوماده A و B را که منجر به تولید دو ماده‌ی C و D می‌شود، کامل می‌پندارید.



$$A + B \longrightarrow C + D$$

به عبارت دیگر این تصور برای‌شماوجوددارد که هرگاه مقدار مناسبی از مواد اولیهٔ A و B را انتخاب کنید و مطابق معادلهٔ شیمیایی بر یکدیگر اثردهید ، واکنش آن‌چنان پیشرفت می‌کند که در پایان عمل فقط C و D خواهید داشت و از مواد اولیه اثری بر جای نمی‌ماند .

ظاهر امر نشان می‌دهد که بسیاری از واکنشها به همین صورت انجام می‌گیرد ولی تجارب و شواهد گوناگونی وجود دارد که این تصور را تأیید نمی‌کند . عملاً" در این موارد نوعی (حالت تعادل) به وجود می‌آید که در آن کم و بیش ، مقداری از مواد اولیه همراه با محصولات عمل یک‌جا دیده می‌شوند .

دراین فصل با مطالعهٔ (حالت تعادل) خواهیددید که ضمن این که واکنش بین مواد اولیه منجر به تولید محصول می‌گردد ، محصولات عمل نیز بر یکدیگر اثر می‌کنند و مواداولیه را پدید می‌آورند . گویی در این شرایط ، نیروهایی وجود دارند که واکنشها را در دوجهت عکس هدایت می‌کنند .

سازندگان آسپرین ، پلاستیک ، کودهای شیمیایی و هزاران فرآوردهٔ دیگر ، با کنترل‌کردن عوامل مؤثر بر واکنش شیمیایی ، جهت پیشرفت و میزان آن را در اختیار می‌گیرند و در راه جلوگیری از انجام‌یافتن "عمل عکس" و نامطلوب تلاش می‌کنند تا بیشترین و بهترین محصول را به ارزانترین راه به دست آورند .

دراین فصل ضمن استفاده از دانستنیهای قبلی خود دربارهٔ عوامل مؤثر برسرعت واکنش ، شرایط مؤثر بر جهت پیشرفت واکنشها ، همچنین چگونگی کنترل آنها را خواهید آموخت و پیشگوییهایی دربارهٔ امکان پیشرفت یا عدم پیشرفت یک واکنش ، همچنین محاسبهٔ مقدار مواد شرکت‌کنندهٔ در آن ، انجام خواهید داد .

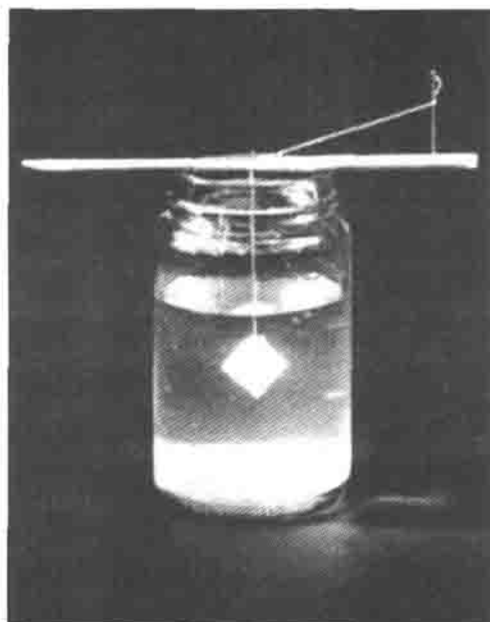
۲- تعادلهای فیزیکی

برای آشنایی با مفهوم تعادل بجاست که از چند مثال فیزیکی استفاده کنیم .

هرگاه دانه‌ای از بلور درشت یک ماده را انتخاب کنید و گوشه‌ای ازآن را بشکنید سپس آن را در محلول سیر شده‌ای از همان ماده بیندازید با پدیدهٔ جالبی روبه‌رو خواهید شد . پس از گذشت یک شبانه روز یا بیشتر ، جزء شکسته شدهٔ آن "ترمیم" می‌شود و بلور شکل اولیهٔ خود را بازمی‌یابد .

بجاست که آزمایش را بصورت دیگری تکرار کنیم . وزن بلور شکسته را در دو نوبت تعیین می‌کنیم . (پیش از وارد کردن آن در محلول و پس از ترمیم‌شدن قسمت شکسته شده) . در اینجا هرگاه بتوان شرایط‌آزمایش را از لحاظ غلظت محلول و دما ثابت نگاه داشت ، به پدیدهٔ جالب دیگری می‌رسیم . معمولاً" وزن بلور با وجود ترمیم‌شدن ، تغییر نمی‌کند . چنین به نظر می‌رسد که بخش ترمیم‌شده از بخشهای دیگر همان بلور تأمین می‌شود .

چگونه می‌توان انتقال یافتن مادهٔ جامد بلور را از اطراف آن به گوشهٔ شکسته توجیه‌کرد ؟



آیا واقعا" چنین چیزی ممکن است؟ برای توجیه این پدیده چنین فرض می‌شود که چون محلول سیرشده نمی‌تواند مقداربیشتری از ماده را در خود حل کند، مقدار ماده‌ای که از بلور جدا شده و به محلول رفته است، باید برابر مقداری باشد که از محلول به بلور رسیده است.

مثال بالا دلیل تجربی خوبی برای برقرارشدن نوعی "تعادل فعال و زنده" است. تعادلی که هرگزحالت‌سکون‌را به خود نگرفته و به اصطلاح‌علمی "حالت دینامیکی" دارد. در این تعادل همواره سرعت متوسط حل شدن بلورها برابر سرعت تبلور آنها می‌باشد.

در توصیف تعادلهای مربوط به آزمایش فوق معمولا" می‌گویند که "تعادل در سیستم مادهٔ جامد و محلول آن برقرار شده است".

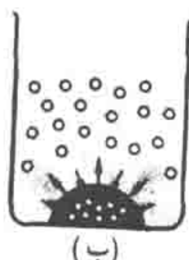
برای اثبات دینامیک بودن تعادل بشرح و شکل صفحهٔ بعد توجه نمائید.

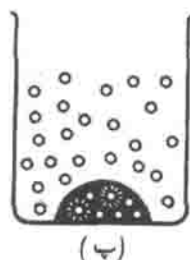
در درس فیزیک سالهای قبل با مفهومی از تعادل آشنا شدید. مخروط چوبی که از سطح قاعده روی میز قرار دارد، دارای تعادل پایدار است. در چنین تعادلی حالت سکون را مشاهده می‌کنیم. تعادل در شیمی مفهوم کاملا" متمایزی دارد. هرگاه سیستم تعادلی حاصل از بلورهائی را که در تماس با محلول سیر شدهٔ خود هستند، نوعی تعادل ساکن بدانیم، باید انتظار داشته باشیم که هر دو فرآیند حل شدن بلورها و پیدایش آنها هنگام برقراری تعادل، متوقف شوند.

درآزمایش و استدلال قبلی خود، حالت تعادل را از نوع دینامیک دانستیم. برای توجیه این بیان نیز فرض کردیم که هنگام برقراری تعادل، هر دو فرآیند، همزمان با سرعت یکسان در دو جهت مخالف یکدیگر پیشرفت می‌کنند. به شکلهای صفحهٔ بعد توجه کنید.

شکل الف ــ مادهٔ جامدی (چون کلرید سرب $PbCl_2$) را نشان می‌دهد که در مجاورت


(الف)


(ب)


(پ)

محلول سیر نشدهٔ خود قرار گرفته است. مطابق این شکل، سرعت حل شدن مادهٔ جامد بیش از سرعت رسوب شدن مادهٔ حل شده می‌باشد.

شکل ب ـ همان مادهٔ جامد را در مجاورت محلول سیر شدهٔ آن نشان می‌دهد. دراینجا سرعت حل شدن ماده برابر سرعت تهنشین شدن آن می‌باشد و حالت تعادل برقرار شده است.

درصورتی که بتوان برخی مولکولهای مادهٔ جامد را نشانه‌گذاری کرد، می‌توان رد آنها را درسیستم‌تعادلی تعقیب‌نمود و مشاهده کرد که آیا واقعاً"تعادل، حالت دینامیکی دارد یا خیر؟

خوشبختانه برای انجام این کار راهی وجود دارد. نوعی ایزوتوپ رادیو اکتیو از جنس مادهٔ حل شده (مانند کلرید سربی که سرب آن رادیواکتیو باشد)، مطابق شکل پ، به بخش جامداین‌سیستم‌تعادلی اضافه می‌کنیم. حرکت ذره‌های رادیواکتیو را بوسیلهٔ "دستگاه ردیاب" ویژه‌ای که در تحقیقات رادیواکتیوی به‌کار می‌رود تعقیب می‌کنیم.[1] هرگاه اثری از ذره‌های رادیواکتیودرمحلول پیدانشود، تعادل را ساکن می‌نامیم. ولی هرگاه محلول خواص‌رادیواکتیوی پیدا کند، نتیجه می‌گیریم که ذره‌های مادهٔ رادیواکتیو، با وجود سیر بودن محلول، از بخش جامد جدا شده و وارد محلول شده و ناچار باید قبول کنیم که به‌جای آن، ذره‌هایی از مادهٔ حل شده به بخش جامد برگشته است. در عمل می‌بینیم که چند لحظه پس‌از افزودن مادهٔ رادیواکتیو، خاصیت رادیواکتیوی درمحلول آشکارمی‌گردد. این آزمایش به‌خوبی دینامیک‌بودن سیستم تعادلی را نشان می‌دهد. بدیهی است که در این آزمایش، در مقیاس ماکروسکوپیک و در فاصله‌های زمانی معمولی تغییری مشاهده نشده است ولی در مقیاس میکروسکوپی، تحرک ذره‌ها و دینامیک بودن سیستم تعادلی بوسیلهٔ دستگاه ردیاب ثابت می‌شود.

پرسش ۱ـ آیا وزن کلریدسرب‌جامدهمچنین وزن کلریدسرب محلول در طول‌مدت برقراری تعادل، ثابت می‌ماند یا تغییر می‌کند؟ چرا؟

پرسش ۲ـ با افزودن مقداردیگری کلریدسرب‌جامد به سیستم تعادلی، آیا وزن‌کلی مادهٔ حل شده تغییر می‌کند یا خیر؟ چرا؟ (فرض بر این است که این آزمایشها درشرایط و دمای ثابت انجام می‌گیرند).

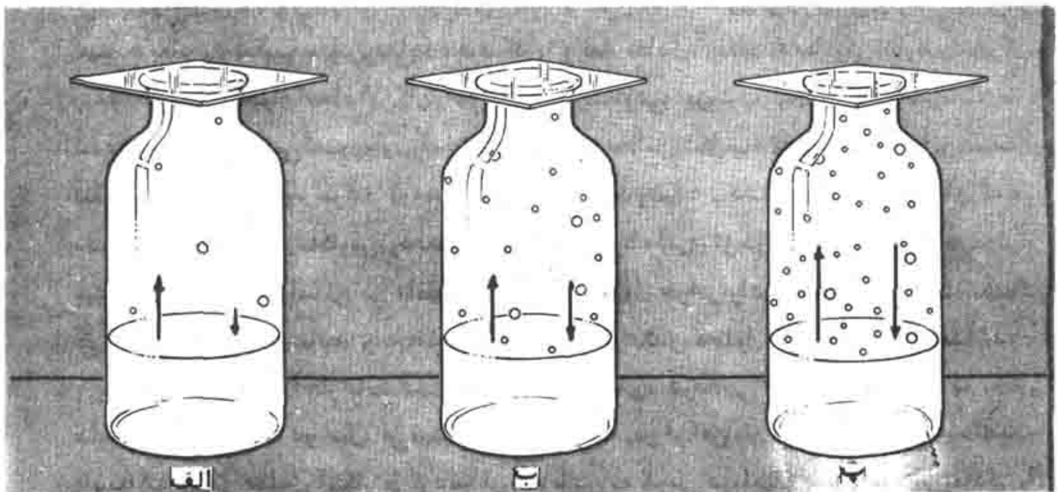
۱ـ در برنامهٔ فیزیک با دستگاه ردیاب اشعهٔ رادیواکتیوی آشنا خواهید شد.

۳- تعادل در سیستم مایع ـ بخار

با آزمایشهای متعدد قبلی مفهوم تعادل را با ذکر مثالهایی از تعادل در سیستم جامد محلول نشان دادیم . حال تعادل را در سیستم مایع ، بخار بررسی می‌کنیم .

هرگاه مقداری مایع را در ظرفی بریزیم و درِ آن را ببندیم ، چنین به‌نظرمی‌رسد که تبخیر مایع تا مدتی ادامه می‌یابد و بعد قطع می‌شود . برحسب دمای مایع ، تعدادی از مولکولها که نزدیک سطح آن هستند و انرژی جنبشی بیشتری دارند ، ممکن است بر نیروی جاذبهٔ مولکولهای مجاور غلبه کنند و ضمن فرار از سطح مایع به‌صورت بخار درآیند .

برخورد میان مولکولها در حالت گازی باعث تغییر مسیر آنها شده و در نتیجه برخی از مولکولهای‌بخارمجددا" به سطح مایع برمی‌گردند . وقتی تبخیر ادامه می‌یابد ، تراکم مولکولهای بخار زیاد می‌شود و احتمال بازگشت مولکولها به مایع افزایش می‌یابد .



هرگاه دما ثابت باشد به لحظه‌ای می‌رسیم که عدهٔ مولکولهایی که به‌صورت بخار خارج می‌شوند با عدهٔ مولکولهایی که به داخل مایع برمی‌گردند مساوی می‌شود (شکل ب) .

در این شکل فلشها نشان می‌دهند که دوعمل مخالف به یک نسبت مساوی انجام می‌گیرند و در نتیجه تعادل دینامیکی و رابطهٔ زیر برقرار شده است .[1]

۱ـ محاسبه نشان داده است که در شرایط معمولی ، هر ثانیه در حدود 10^{22} مولکول H_2O به سطح یک سانتیمتر آب برخورد می‌نماید . شیمی‌دانان معتقد هستند که تقریبا" همهٔ این مولکولها متراکم شده و از حالت گازی به حالت مایع انتقال می‌یابند . بدیهی‌است برای ثابت ماندن فشار بخار آب ، همین تعداد عظیم از مولکولها در یک ثانیه از همان سطح جدا شده و به حالت گازی انتقال می‌یابند .

سرعت تبخیر = سرعت مایع شدن

تعداد مولکولهایی که در یک ثانیه از سطح مایع جدا می‌شوند. = تعداد مولکولهایی که در یک ثانیه وارد سطح مایع می‌شوند.

هرگاه عمل تبخیر را که گرماگیر است به‌صورت (بخار ← انرژی + مایع) و عمل برگشت مولکولهای بخار را به مایع (عمل میعان که گرمازاست) به‌صورت (انرژی + مایع ← بخار) نمایش دهیم، می‌توانیم دینامیک‌بودن حالت تعادل را دراین محیط بسته با استفاده از علامت ($\rightleftarrows$)، به‌صورت (بخار $\rightleftarrows$ انرژی + مایع) نشان دهیم.

با بالا بردن دما، بر انرژی جنبشی مولکولها افزوده می‌شود و عدهٔ نسبتاً" بیشتری از مولکولهای مایع دارای انرژی لازم برای خارج شدن از سطح مایع می‌شوند و میزان تبخیر افزایش می‌یابد. در این شرایط تعادل مایع، بخار مختل شده و غلظت مولکولهای بخار در بالای سطح مایع افزایش می‌یابد. و این فرآیند به نوبهٔ خود احتمال برخورد مولکولها را در آنجا بیشتر می‌کند و در نتیجه تعداد بیشتری از مولکولها به سطح مایع برمی‌گردد و سرانجام حالت تعادل جدیدی برقرار می‌شود. (شکل پ)

ه‍ـ تعادلهای شیمیایی

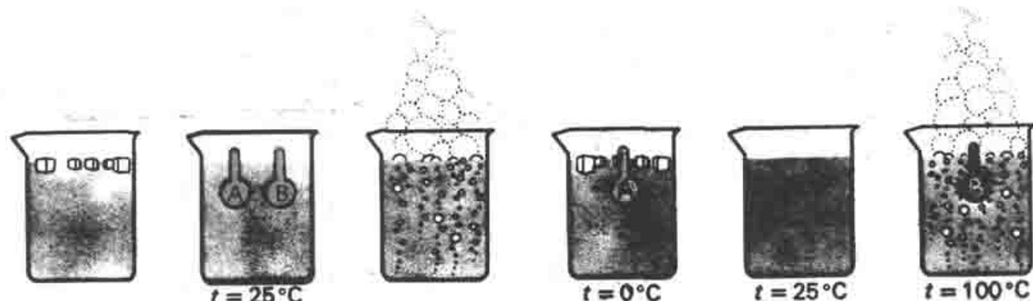
با نمونه‌های گوناگونی از پدیده‌های فیزیکی آشنا شدیم که در دو جهت مخالف انجام می‌گیرند و درشرایط مناسب، نوعی‌حالت‌تعادل بوجودمی‌آورند که خواص ظاهری و ماکروسکوپی آن ثابت است. در تعادل (جامد ــ مایع) دیدیم که در دمای معین قابلیت حل شدن جامد در مایع ثابت است و محلول نمی‌تواند مقداربیشتری از آن ماده را درخود حل کند درمورد تعادل (مایع ــ بخار) نیز دیدیم که فشار بخار مایع ثابت می‌باشد. حال چنین مطالعه‌ای را در مورد واکنشهای شیمیایی انجام می‌دهیم تا ضمن آشنایی با مفهوم انجام گرفتن واکنش در دو جهت مخالف، به چگونگی برقراری تعادل شیمیایی پی ببریم.

هـ تعادل درسیستم $N_2O_4 - NO_2$ (سیستم‌گاز ـ گاز)

یک مثال ساده برای نشان دادن حالت تعادل در سیستم شیمیایی، تعادل گاز دی اکسید نیتروژن (NO_2) و گاز تتراکسید نیتروژن (N_2O_4) می‌باشد. ترکیب شیمیایی اول‌خرمائی ــ رنگ و ترکیب دوم تقریباً" بی‌رنگ است.

در دو حبابی که گنجایش آنها یکسان است، مقادیرمساوی از گاز دی اکسید نیتروژن که خرمایی رنگ است وارد می‌کنیم.[1] یکی از دو حباب را در آب یخ و حباب دیگر را در آب جوش

۱ــ این گاز از اثر اسید نیتریک غلیظ بر فلز به دست می‌آید. هرگاه فراهم نمودن حبابهائی مطابق شکلهای فوق ممکن نباشد، می‌توان در دو بالن کوچک و یا دردولولهٔ آزمایش یک اندازه،



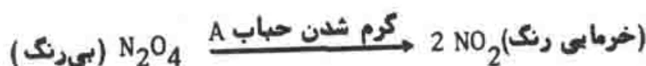
کم‌رنگ‌بودن حباب A نشانه آن است که گاز درون آن ، بیشتر از مولکولهای N_2O_4 تشکیل شده است . پر رنگ بودن حباب B می‌رساند که گاز درون آن بیشتر شامل مولکولهای NO_2 است .

در دمای واحد $25^{\circ}C$ ، رنگ گاز در حبابهای A و B یکسان می شود . این تغییرات نشانهٔ وجود تعادل در مخلوط NO_2 و N_2O_4 است .

فرو می‌بریم .

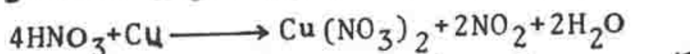
پس از چند لحظه می‌بینیم که رنگ گاز حباب A که در آب یخ است تقریبا" از بین می‌رود در حالی که گاز حباب B پررنگتر شده و به رنگ قرمز قهوه‌ای درمی‌آید . آزمایش نشان می‌دهد که حباب سرد و کمرنگ بیشتر محتوی مولکولهای N_2O_4 و حباب گرم و پررنگ بیشتر محتوی مولکولهای NO_2 است .

حال اگر این دو حباب را مطابق شکل درآب $25^{\circ}C$ فروبریم ، ملاحظه می‌شود که بر شدت رنگ گاز در حباب A که قبلا" در آب یخ بوده ، افزوده می‌شود و مجددا" خرمایی رنگ می‌گردد و این نشانهٔ آن است که در این حباب واکنش شیمیایی روی داده و مقداری ازمولکولهای N_2O_4 به مولکولهای NO_2 تجزیه شده است .



$$\text{(بی‌رنگ)}\ N_2O_4 \xrightarrow{\text{گرم شدن حباب A}} 2\,NO_2\text{(خرمایی رنگ)}$$

دو تکه سیم نازک مس به طول یکسان (مثلا" یک سانتیمتر) انداخت ودرهریک چندقطره‌اسید نیتریک غلیظ ریخت و در پایان دهانهٔ آنها را با درپوش لاستیک محکم بست . تکه‌های فلز مطابق واکنش زیر در اسید حل می‌شود و گازی به رنگ خرمایی پدید می‌آورند که شدت‌آن درهر دو ظرف یکسان است .



$$4HNO_3 + Cu \longrightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$$

هرگاه در آزمایشگاه دو عدد سرنگ شیشه‌ای وجود داشته باشد می‌توان آنها را مطابق شرح آزمایش صفحهٔ ۱۴۹ پر از گاز خرمایی رنگ کرد و آزمایش فوق را با واردکردن‌سرنگها در آب‌جوش و یخ انجام داد .

در همان هنگام گاز قرمز رنگ حباب که قبلاً در آب جوش بود کمرنگ می‌شود و این خود نشانهٔ واکنش شیمیایی زیر می‌باشد :

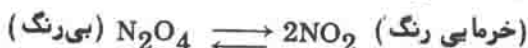


$$2NO_2 \xrightarrow{\text{سرد شدن حباب B}} N_2O_4$$

(قرمز قهوه‌ای) ... (بی‌رنگ)

آزمایش نشان می‌دهد که پررنگ‌شدن حباب A و کمرنگ‌شدن حباب B آن‌قدر ادامه می‌یابد تا سرانجام رنگ هر دو حباب یکسان می‌شود .

چنین آزمایشی می‌رساند که امکان پیشرفت واکنشهای تجزیه برای مولکولهای N_2O_4 و ترکیب برای مولکولهای NO_2 در هر دو حباب A و B وجود دارد و عملاً هریک از این دو حباب سیستم بسته‌ای را نشان می‌دهد که در آن تعادل شیمیایی زیر برقرار است .



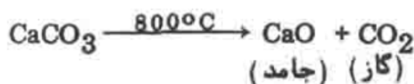
$$N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$$

(بی‌رنگ) ... (خرمایی رنگ)

می‌دانیم که افزایش دما باعث زیاد شدن سرعت واکنشها می‌شود . برای مثال بالا رفتن دما از صفر تا ۲۵ °C باعث افزایش سرعت هر دو واکنش "مستقیم و معکوس" می‌گردد . علت پررنگ شدن گاز را نیز در این می‌دانیم که در ابتدا سرعت تفکیک N_2O_4 و تشکیل مولکولهای NO_2 بیش‌از سرعت عمل عکس است . این امر تراکم نسبی NO_2 را به تدریج افزایش می‌دهد و این به نوبهٔ خود برخورد مؤثر میان مولکولهای NO_2 را بیشتر می‌کند . درنتیجه بر سرعت عمل عکس نیز به‌تدریج افزوده می‌شود . سرانجام لحظه‌ای فرامی‌رسد که هر دو سرعت دردمای بالاتر مجدداً یکسان می‌شوند . دراین‌شرایط تعادل جدیدی برقرارمی‌گردد و تغییررنگ متوقف می‌شود .

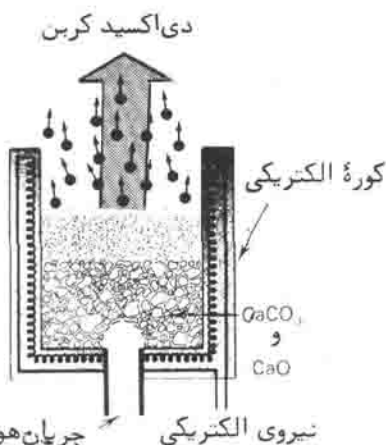
۶ـ تعادل درسیستم جامد ـ گاز

یک مثال مناسب دیگر برای نشان دادن تعادل در یک سیستم شیمیایی بررسی تجزیهٔ حرارتی کربنات‌کلسیم‌است که در کورهٔ آهک‌پزی از حرارت دادن کربنات‌کلسیم ، آهک (CaO) و گاز دی اکسید کربن (CO_2) حاصل می‌شود .



$$CaCO_3 \xrightarrow{800°C} CaO + CO_2$$

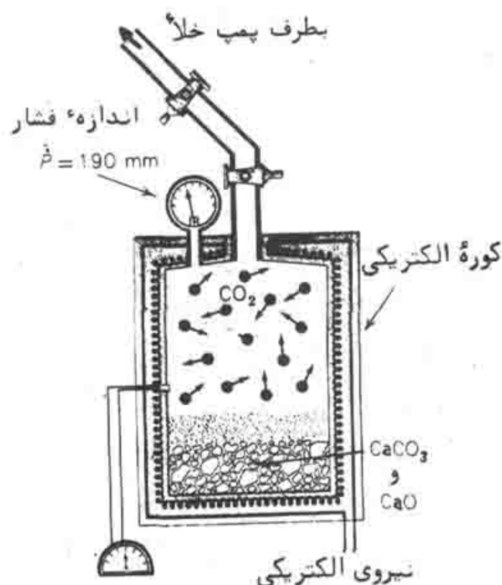
(جامد) (گاز)



کورهٔ آهک پزی‌مثالی از یک‌سیستم بازاست که حالت‌تعادلی ندارد . هوای گرم‌وفشرده را از پایین‌کوره می‌دمندتاگاز CO_2 سریعتر از محیط واکنش‌خارج‌شودو فرصت ترکیب‌مجددرابا CaO نداشته‌باشد .

در این سیستم هیچ وقت تعادل برقرار نمی‌شود زیرا سر کوره باز است و گاز CO_2 دائما" خارج می‌شود و فرصتی برای ترکیب شدن آن با آهک و انجام دادن واکنش معکوس (واکنش راست به چپ) در بین نیست.

حال این واکنش را در یک ظرف سر بسته مجهز به فشارسنج انجام می‌دهیم. ابتدا هوای درون ظرف را تخلیه می‌کنیم. سپس این ظرف را تا ۸۰۰ درجهٔ سانتیگراد حرارت می‌دهیم و دما را در این شرایط ثابت نگه می‌داریم. ابتدا فشار درون ظرف بالا می‌رود تا این‌که سرانجام در ۱۹۰ میلیمتر جیوه ثابت می‌ماند.

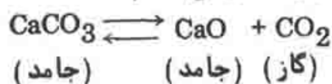


سیستم بسته درحال تعادل. حرارت دادن کربنات کلسیم در ظرف سربسته‌ای که هوای آن راخارج‌ساخته‌ایم. فشارسیستم دردمای ۸۰۰°C به مقدار ثابتی می‌رسد.

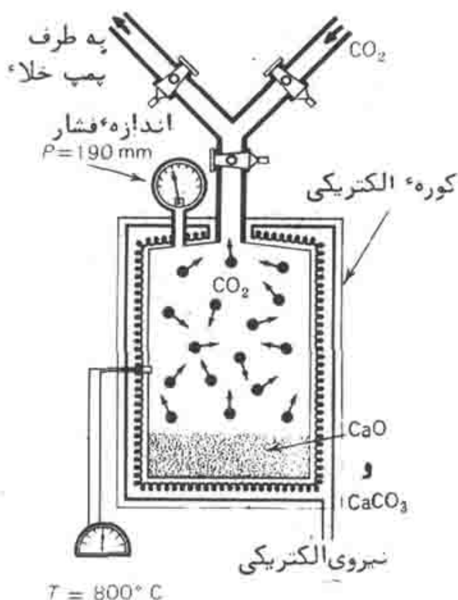
در اینجا چون در خواص ماکروسکوپی این سیستم بسته تغییری مشاهده نمی‌شود (فشار که قابل اندازه‌گیری است، ثابت می‌ماند)، می‌گوییم سیستم به حالت تعادل رسیده است.

برای این که نشان دهیم در این سیستم یک حالت تعادل واقعی برقرار است، واکنش را از جهت عکس شروع می‌کنیم.

ابتدا مقدار کافی CaO درون ظرف قرار می‌دهیم. هوای درون ظرف را تخلیه می‌کنیم و به جای آن گاز CO_2 وارد می‌کنیم تا فشار آن به حدود ۴۰۰ میلیمتر جیوه برسد (این مقدار فشار ازفشار ۱۹۰ میلیمترجیوه که مربوط به سیستم درحال تعادل قبلی است، خیلی بالاتر می‌باشد). دما را تا ۸۰۰ بالا می‌بریم. مشاهده می‌شود که فشار به تدریج تنزل می‌کند و سرانجام در ۱۹۰ میلیمتر جیوه ثابت می‌ماند. در اینجا چون از هر دو طرف واکنش به همان فشار ۱۹۰ میلیمتر رسیده‌ایم، می‌گوییم که در این سیستم یک تعادل واقعی برقرار می‌باشد. چنین واکنشی را دو-طرفه یا برگشت‌پذیر می‌دانیم و آن را به صورت زیر نمایش می‌دهیم.



$$\underset{\text{(جامد)}}{CaCO_3} \rightleftharpoons \underset{\text{(جامد)}}{CaO} + \underset{\text{(گاز)}}{CO_2}$$

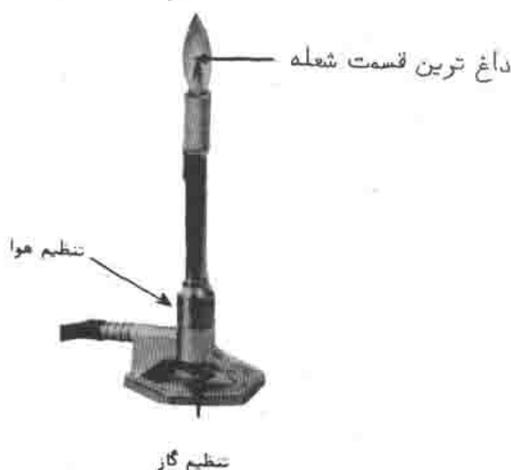


در یک سیستم بسته ، گاز CO_2 وارد ظرف محتوی CaO شده است. تعادلی میان CO_2 ، CaO و $CaCO_3$ برقرار شده است .

نتیجه‌ای که از مجموع مثالهای مربوط به تعادلهای شیمیایی می‌گیریم آن است که (برای واکنشهای شیمیایی نیز به همان گونه که در مورد تعادلهای فیزیکی دیدیم ، هنگامی که به حالت تعادل می‌رسیم ، اعمال میکروسکوپی ادامه می‌یابند ولی این اعمال چنان توازنی دارند که موجب تغییرات ماکروسکوپی نمی‌شوند .)

۷ـ آیا ثابت ماندن خواص ماکروسکوپی تنها شرط تعادل است؟

با وجود این که سیستم در حال تعادل خواص ثابتی دارد (مانند ثابت ماندن فشار گاز در سیستم بسته مربوط به حرارت دادن سنگ آهک) ، نمی‌توان ثابت بودن این خواص را تنها شرط برقراری تعادل دانست .



به‌عنوان مثال، چنین به نظر می‌رسد که شعلهٔ چراغ آزمایشگاه خواص ثابتی دارد و این شعله همواره به‌صورت یک مخروط کم‌نور داخلی که به وسیلهٔ یک مخروط فروزان خارجی احاطه شده است، دیده می‌شود.

ولی عملا" می‌بینیم که در اینجا پیوسته تغییر شیمیایی روی می‌دهد و نقاط مختلف شعله دماهای متفاوت دارد. جریان گازها مرتبا" ادامه دارد، از یک سو سوخت گازی و هوا وارد شده و از سوی دیگر گاز دی اکسید کربن و بخار آب خارج می‌گردد. چنین سیستمی را باز می‌دانیم. تعادل فقط در سیستم بسته، یعنی سیستمی که مقدار مادهٔ موجود در آن ثابت است و تمام آن دمای یکسان دارد، می‌تواند وجود داشته باشد.

ممکن است شعلهٔ چراغ آزمایشگاه را یک حالت ثابت بدانیم، یعنی بعضی از خواص آن را ثابت در نظر می‌گیریم ولی هرگز آن را حالت تعادلی نمی‌دانیم.

پرسش ۱ــ یک کتری محتوی آب روی اجاق در حال جوشیدن است و دمای آب در آن ثابت می‌باشد. آیا در اینجا حالت ثابتی وجود دارد؟ آیا سیستم در حال تعادل است؟

پرسش ۲ــ شکل روبه‌رو یک قطعه یخ صفر درجه را که در آب صفر درجه شناور است نشان می‌دهد. هرگاه تبادل گرمایی سیستم را با محیط خارج نادیده بگیریم، آیا می‌توان گفت که این سیستم در حال تعادل است؟ آیا سرعت ذوب شدن یخ برابر سرعت انجماد آن می‌باشد؟



سرعت ذوب = سرعت انجماد

خلاصهٔ مشخصات سیستمهای تعادلی

با استفاده از بررسیهای گذشته می‌توان مشخصات کلی زیر را برای سیستمهای تعادلی در نظر گرفت:

۱ــ در هر آزمایش یا پدیدهٔ تعادلی، برخی مشخصات قابل سنجش (مانند فشار گاز یا رنگ آن) به تدریج تغییر می‌کند و سپس در حد معینی متوقف می‌گردد.

۲ــ تعادل هنگامی برقرار می‌ماند که دما ثابت بماند.

۳ــ پس از آغاز آزمایش، هیچ‌گونه ماده یا انرژی از سیستم خارج نشود یا در آن وارد نگردد (سیستم بسته باشد).

۴ــ با وجود ثابت ماندن خواص ماکروسکوپی هنگام برقراری تعادل، اعمال میکروسکوپی ادامه دارد.

۸- عوامل مؤثر بر حالت تعادل

در آزمایشهای قبلی مربوط به تعادل $NO_2-N_2O_4$ به یاد دارید که شدت تراکم یا غلظت

گاز خرمایی رنگ دی اکسید نیتروژن را می‌توان به آسانی از راه تغییر دما ، کم یا زیاد کرد . افزایش دما باعث زیاد شدن غلظت NO_2 و پررنگ شدن مخلوط گازی می‌شود . کاهش دما نیز باعث کم شدن غلظت NO_2 و کمرنگ شدن گاز می‌گردد . در این مبحث ، اضافه بر اثر دما ، می‌خواهیم اثر عوامل دیگر را بر حالت تعادل بررسی کنیم .

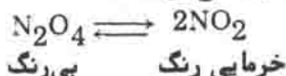
بطور کلی می‌دانیم که حالت تعادل هنگامی برقرار می‌شود که سرعت واکنشهایی که در دو جهت مخالف انجام می‌گیرند ، برابر باشد . بنابراین هر عاملی که باعث تغییر سرعت یکی از این دو واکنش بشود ، ممکن است بر روی غلظت نسبی مواد اولیه یا محصول عمل اثر بگذارد .

از فصل اول به یاد دارید که دما ، غلظت و کاتالیزور از جمله عوامل مؤثر بر سرعت واکنش می‌باشند . آیا همهٔ این عوامل بر حالت تعادل مؤثر هستند؟ بررسیهای زیر ما را به پاسخ این پرسش می‌رساند .

۱ــ اثر دما

مثال ــ اثر دما بر سیستم تعادلی دی اکسید نیتروژن ، تتراکسید نیتروژن .

درآزمایشهای مربوط به این تعادل دیدیم که حباب محتوی تتراکسید نیتروژن در صفر درجه تقریبا" بی‌رنگ است . با بالا بردن دما تا درجهٔ حرارت معمولی (۲۵) گاز درون حباب رنگ خرمایی پیدا می‌کند که مربوط به تشکیل مقداری دی اکسید نیتروژن است . یعنی با افزایش دما تعادل زیر در جهت تشکیل مقدار بیشتر NO_2 جابجا می‌شود .



به عبارت دیگر واکنش فوق نیز در جهت چپ به راست گرماگیر است و می‌توان معادلهٔ واکنش را با وارد کردن مقدار گرما بصورت زیر نمایش داد .[1]



بدیهی است واکنشی مانند واکنش فوق که در یک جهت گرماگیر است ، در جهت عکس گرمازاست یعنی ترکیب شدن مولکولهای دی اکسید نیتروژن با یکدیگر که به تشکیل مولکولهای تتراکسید نیتروژن منتهی می‌شود ، با آزاد شدن گرما همراه می‌باشد .

بطوری که ملاحظه میشود هرگاه به این سیستم تعادلی گرما دهیم تعادل در جهتی جابجا می‌شود تا آن گرما را مصرف کند یعنی واکنش در جهت تجزیهٔ N_2O_4 و تولید NO_2 پیش می‌رود که نتیجهٔ آن پررنگتر شدن مخلوط است . هرگاه مخلوط در حال تعادل را سرد کنیم ، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که گرما تولید کند یعنی واکنش در جهت تولید N_2O_4 پیش می‌رود که در نتیجه مخلوط کمرنگتر می‌شود .

۱ــ مقدار عددی Q یا ΔH در این معادله ۱۴/۱ کیلوکالری بر مول است .

۲ــ اثر غلظت

سیستم تعادلی $H_2+I_2 \rightleftharpoons 2HI$ را که در آن همهٔ مواد گازی شکل هستند در نظر بگیرید. در این سیستم هرگاه مقداری گاز ئیدروژن وارد کنیم ملاحظه خواهیم کرد که مقدار HI افزایش خواهد یافت. همچنین هرگاه غلظت بخار ید را زیاد کنیم باز هم مقدار HI افزایش می‌یابد. برعکس هرگاه غلظت گاز HI را زیاد کنیم خواهیم‌دید که مقدار H و I زیاد می‌گردد.

در این مورد نیز مشاهده می‌شود که با افزودن یک ماده به سیستم تعادلی، تعادل جابجا شده و در جهتی پیش می‌رود که آن ماده را مصرف کند.

۳ــ اثر کاتالیزور

گفتیم که در یک سیستم در حالت تعادل چه فیزیکی و چه شیمیایی سکون وجود ندارد. در یک واکنش شیمیایی وقتی به حالت‌تعادل‌می‌رسیم‌که سرعتهای دو واکنش‌راست به‌چپ و چپ به راست با هم برابر گردند.

آزمایشهای گوناگون نشان می‌دهد که اضافه کردن یک مادهٔ خارجی به‌عنوان کاتالیزور تأثیری بر غلظت مواد اولیه یا محصول عمل ندارد و حالت تعادل را تغییر نمی‌دهد (اصطلاحاً می‌گویند که کاتالیزور تعادل را جا به جا نمی‌کند).

هرگاه برخی آزمایشهای تعادل را یک بار بدون کاتالیزور و بار دوم با کاتالیزور انجام دهیم، می‌بینیم که حالت تعادل در هر دو حال یکی است و به‌کار بردن کاتالیزور فقط سرعت رسیدن به حالت تعادل را تغییر می‌دهد. در فصل سرعت واکنشها دیدیدکه کاتالیزور با فراهم کردن مسیری که نیاز به انرژی اکتیواسیون کمتری دارد، بر سرعت واکنش می‌افزاید[1] وطی‌کردن راه میان مواد اولیه و محصولات عمل را آسانتر می‌نماید. چون طی کردن همین راه آسان و کم‌انرژی به وسیلهٔ عمل عکس نیز ممکن است، از این‌رو سرعت هر دو واکنش مستقیم ومعکوس به یک نسبت افزایش می‌یابد.

۴ــ اثر فشار

می‌دانید که با ثابت نگاه داشتن دما در یک سیستم تعادلی، غلظتهای تعادلی همیشه ثابت می‌ماند.

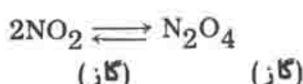
تعادل $2NO_2$ (گاز) $\rightleftharpoons N_2O_4$ (گاز) را در دمای ثابتی در نظر می‌گیریم.

هرگاه فشاررا براین‌سیستم زیادکنیم، چه جریاناتی روی‌می‌دهد؟ آیا تغییری در غلظتهای تعادلی صورت می‌گیرد؟ بجاست که آزمایش زیر را انجام دهید تا از راه تحقیق تجربی به پاسخ

۱ــ در برخی موارد کاتالیزور از سرعت واکنش می‌کاهد. در چنین مواردی که این مواد نقش بازدارنده را دارند، در رسیدن به حالت تعادل تأخیر حاصل می‌شود.

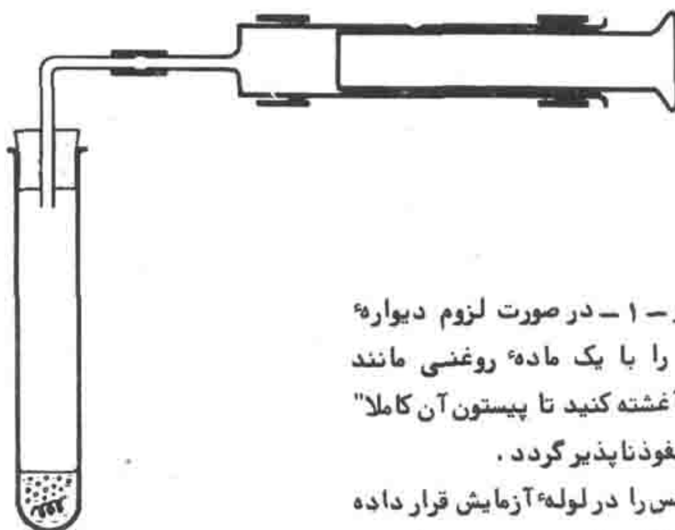
این پرسشها برسید .

آزمایش سرنگ[1] و سیستم تعادلی



مواد و ابزار مورد نیاز :

سرنگ شیشه‌ای بزرگ (به حجم ۱۰۰ سانتیمتر مکعب) لولهٔ آزمایش کوچک همراه با درپوش لاستیک و لولهٔ رابط، قطره چکان ، اسید نیتریک غلیظ، تکهٔ کوچک سیم مسی یا اندکی برادهٔ این فلز .



روش کار ــ ۱ ــ در صورت لزوم دیوارهٔ درونی سرنگ را با یک مادهٔ روغنی مانند پارافین مایع آغشته کنید تا پیستون آن کاملاً" نسبت به گاز نفوذناپذیر گردد .

۲ــ فلزمس را در لولهٔ آزمایش قرار داده و برآن به‌کمک قطره‌چکان درحدود ۳ سانتیمتر مکعب اسید بریزید و فورا" درآن‌را با درپوش لاستیک مطابق شکل ببندید تا گازحاصل در فضای اطاق پخش نشود . پس از آن که گاز خرمایی رنگ حاصل نیمی از سرنگ را پر کرد ، لولهٔ رابط را در خارج آزمایشگاه از سرنگ جدا کنید و با ریختن آب در لولهٔ آزمایش، باقیماندهٔ اسید را رقیق کنید و آن را دوربریزید (درصورتی که آزمایشگاه مجهز به دودکش گازهای سمی باشد ، این مرحله از آزمایش را در آن انجام دهید) .

۳ــ سرنگ را در مقابل یک برگ کاغذ سفید بگیرید ، مجرای آن را مطابق شکل بوسیلهٔ درپوش لاستیک محکم ببندید . پیستون سرنگ را محکم فشار دهید و برای چند لحظه در جای جدیدخود نگاه دارید سپس آن‌را رهاکنید . آیا گاز به حجم‌اولیهٔ خود برمی‌گردد ؟ چه تغییراتی مشاهده می‌کنید ؟

۴ــ با کشیدن پیستون به سمت خارج فشارگازرا کم کنید . دراین‌مورد نیز پیستون را برای

۱ــ به علت احتمال پراکنده شدن گاز سمی NO_2 در فضای آزمایشگاه ، این آزمایش باید در شرایط تهویهٔ مناسب صورت بگیرد . در غیر این صورت انجام دادن آن خطرناک است .

چندلحظه درجای‌جدیدخود نگاه دارید و آن‌گاه آن را رهاکنید . چه تغییراتی مشاهده‌می‌کنید ؟ آیا در اینجا نیز حجم فورا" به وضع اولیهٔ خود برمی‌گردد ؟

تغییرات گوناگون انجام یافته در این آزمایش، در شکل زیر خلاصه شده است تا هرگاه







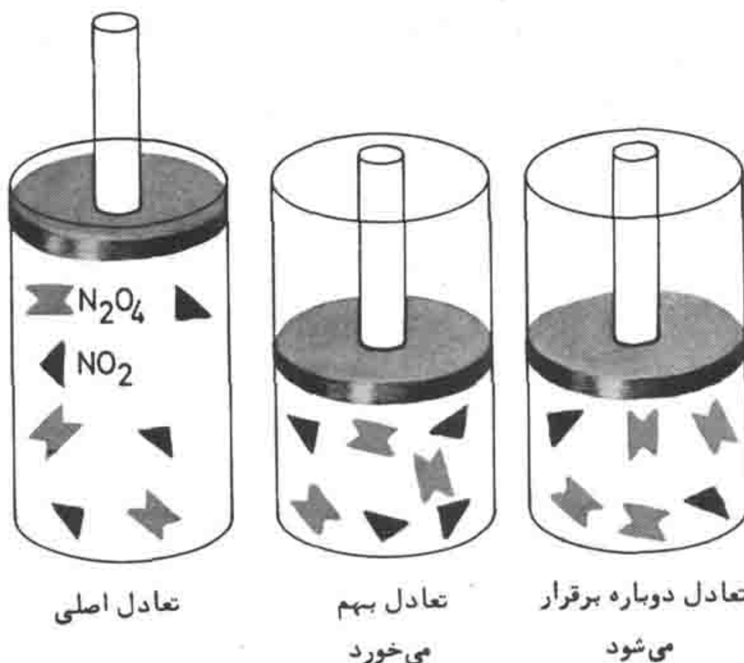




فرصت اجرای آن را پیدا نکنید یا موفق به مشاهدهٔ تغییرات جزئی رنگ نشوید ، بتوانید بحث و بررسی خود را انجام دهید .

پرسش ــ با افزایش فشار ، درابتدا برای یک لحظه ، برشدت رنگ‌خرمایی افزوده می‌گردد آن‌گاه اندکی از شدت رنگ کاسته می‌شود . افزایش شدت رنگ در ابتدا مربوط به تراکم گاز در فضای کوچکتر است . علت تغییررنگ بعدی چیست ؟ چگونه تعادل با شرایط جدید تطبیق پیدا می‌کند ؟ در این تغییرات سرعت کدام یک از واکنشها افزایش پیدا می‌کند ، واکنش تجزیه که مولکولهای بیشتری پدید می‌آورد یا واکنش ترکیب که مولکولهای‌کمتری ایجادمی‌کند ؟ درنتیجهٔ انجام یافتن این واکنش، در فشار سیستم تعادلی چه تغییری ایجاد می‌شود ؟ با همین نوع بحث و استدلال مشاهدات خود را نسبت به حالتی که فشار را در آن کم کرده‌اید ، توجیه کنید . شکلهای صفحه بعد می‌تواند شما رادر توجیه این مطلب یاری کند .

در این مورد نیز ملاحظه می‌شود که زیاد کردن حجم فشار کلی دستگاه باعث می‌شود تا تعادل در جهتی جا به جا شود که تعداد کل مولکولهای موجود در سیستم کم شود و در نتیجه فضای اشغال شده‌بوسیله‌مولکولها کم شود . به عنوان مثال درشکل صفحه بعد مشاهده می‌شود که در



حالت‌اول۳ مولکول N_2O_4 و چهار مولکول NO_2 یعنی جمعا" هفت مولکول وجود داشته درصورتی که پس از افزایش فشار تعداد مولکولهای N_2O_4 به چهار مولکول و تعداد مولکولهای NO_2 به دو مولکول یعنی جمعا" شش مولکول تغییر یافته است .

اصل لوشاتلیه ـ لوشاتلیه شیمی‌دان‌فرانسوی با استفاده از اطلاعات گوناگون به‌دست آمده از آزمایشهائی‌نظیرآزمایشهای‌فوق به نظامهائی دربارهٔ تعادلها دست یافت . نتیجه‌گیری کلی او از این نظامها به قرار زیر بود :

"اگر بر یک سیستم در حال تعادل تغییری تحمیل شود ، تعادل در جهتی جابه‌جا می‌شود که تغییر تحمیل شده را تا آنجا که ممکن است تعدیل کند .

این نتیجه‌گیری کلی امروزه یک اصل نامیده می‌شود و در موارد شیمیائی و فیزیکی بسیار زیادی صدق می‌کند .

این آزمایش نشان می‌دهد که افزایش فشاردردمای‌ثابت ، حجم سیستم گازی را کم‌می‌کند . در حجم کوچکتر ، بر تعداد کلی مولهای گاز که در واحد حجم وجوددارد ، افزوده می‌گردد . به عبارت دیگر افزایش‌فشاربرسیستم‌گازی باعث افزایش غلظت گازهای شرکت‌کننده درآن می‌شود . هرگاه مولکولهای گاز NO_2 با یکدیگر ترکیب شوند و گاز N_2O_4 را پدید آورند ، از تعداد کلی مولهای گازموجود درسیستم کاسته می‌شود و در نتیجه غلظت گازها و فشار مربوط به آنها تعدیل می‌گردد . نتیجهٔ آزمایشها نیز همین استدلال را تأیید کرده و نشان می‌دهد که برای چند لحظه سرعت واکنش چپ به راست افزوده می‌شود و سرانجام تعادل جدیدی برقرار می‌گردد که غلظت

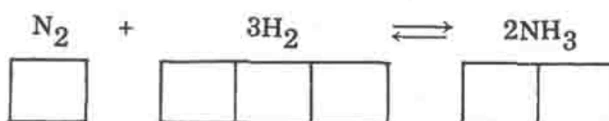
NO_2 در آن کمتر است.

آیا تغییر فشار کلی سیستم گازی همیشه تعادل را تغییر می‌دهد؟

در مثال قبلی که عدهٔ مولهای مواد در دو طرف معادله متفاوت است، تغییر فشار کلی سیستم گازی (که با کم‌کردن حجم سیستم یا افزایش آن امکان‌پذیر است)، باعث ایجاد تغییر در تعادل و جابه‌جا شدن آن به سمت راست یا چپ می‌گردد.

حال یک سیستم تعادلی دیگر مانند $2HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$ را درنظرمی‌گیریم که عدهٔ مولها در دو طرف آن یکسان است و پیشرفت واکنش به یک سو، تغییری در عدهٔ کلی مولها بموجود نمی‌آورد. بنابر *اصل لوشاتلیه*، با تغییر فشار کلی سیستم، باید فرآیندهایی که روی می‌دهند "تا اندازه‌ای تغییر تحمیل شده را بی‌اثر سازند" ولی دراینجا جابه‌جاشدن تعادل به سمت چپ یا راست تغییری در حجم کلی گازها بموجود نمی‌آورد تا تغییر فشار تحمیل شده‌را بی‌اثر سازد. ازاین‌رو چنین پیش‌بینی می‌کنیم که تغییرفشار دراین سیستم، تغییری در حالت تعادل به‌وجود نمی‌آورد. آزمایش نیز صحت این پیش‌بینی را تأیید می‌کند. تعمیم کلی در این مورد آن است که "دریک‌مخلوط گازی درحال تعادل، هرگاه عدهٔ مولهای موادی که بر هم اثر می‌کنند با عدهٔ مولهای مواد تولید شده برابر باشند، تغییر فشار بر حالت تعادل تأثیری نخواهد داشت".

پرسش ــ شکل زیر نموداری از واکنش تعادلی تولید آمونیاک از گازهای ئیدروژن ونیتروژن است.



آیا افزایش فشار کلی باعث برهم‌زدن تعادل در این سیستم می‌شود و تعادل را جا به جا می‌کند؟ چرا؟

۹ــ جنبه‌های کمّی تعادل

بطوری که دیدید در یک واکنش تعادلی شیمیایی با استفاده از اصل لوشاتلیه می‌توانیم بطور کیفی دربارهٔ احتمالات جابه‌جاشدن تعادل به سوی راست یا چپ پیشگوییهایی انجام دهیم. چنین بررسیهائی بیشتر دربارهٔ خواص ماکروسکوپی قابل مشاهده است. مطالعهٔ کمی سیستم تعادلی به شیمی‌دان امکان می‌دهد تا واکنش را بهتر بشناسد و آن را در جهت دلخواه هدایت کند.

نتایج آزمایشهای گوناگون نشان می‌دهد که پیشگوییهای کمی نیز امکان‌پذیر است. برای مثال درجدول صفحهٔ بعد غلظتهای تعادلی ید، ئیدروژن ویدیدئیدروژن در ۴۲۵ درجهٔ سانتیگراد برای ۵ آزمایش گوناگون مربوط به سیستم تعادلی $2HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$ داده شده است.

غلظتها در هر مورد به‌صورت مول در لیتر بیان شده که با علامت [ ] مشخص گردیده است.[1]

غلظتهای مولی در حال تعادل ید، ئیدروژن و یدیدئیدروژن در $425^\circ C$[2]

شمارهٔ آزمایش	[HI] مول در لیتر	$[H_2]$ مول در لیتر	$[I_2]$ مول در لیتر
۱ ۲ ۳	$۱۷/۶۷ \times ۱۰^{-۳}$ $۱۶/۵ \times ۱۰^{-۳}$ $۱۳/۵ \times ۱۰^{-۳}$	$۱/۸۳ \times ۱۰^{-۳}$ $۲/۹۱ \times ۱۰^{-۳}$ $۴/۵۶ \times ۱۰^{-۳}$	$۳/۱۳ \times ۱۰^{-۳}$ $۱/۷۱ \times ۱۰^{-۳}$ $۰/۷۴ \times ۱۰^{-۳}$
۴ ۵	$۳/۵۳ \times ۱۰^{-۳}$ $۸/۴ \times ۱۰^{-۳}$	$۰/۴۸ \times ۱۰^{-۳}$ $۱/۱۴ \times ۱۰^{-۳}$	$۰/۴۸ \times ۱۰^{-۳}$ $۱/۱۴ \times ۱۰^{-۳}$

جستجوی نظام ـ حال ببینیم دربین نتایج این آزمایشها چه نظام یا نظامهائی را می‌توان پیدا کرد. می‌دانیم که در هر عمل مقدار مواد تولید شده با مواد اولیه نسبت مستقیم دارد. یعنی هر قدر مواد اولیه بیشتر باشد محصول زیادتری خواهیم داشت. از سوی دیگر می‌دانیم که در یک واکنش تعادلی تمام مواد اولیه به محصول عمل تبدیل نمی‌شوند و پس از آنکه واکنش تا حدی پیشرفت کرد تعادل برقرار می‌شود. بنا براین نظامی که در جستجوی آن هستیم نسبتی بین مواد اولیه و مواد حاصل می‌باشد که بتواند در همهٔ آزمایشها به‌کاررود. نسبت غلظت مولی این مواد به یکدیگر را می‌توان به سه صورت زیر تنظیم کرد:

$$\frac{[H_2][I_2]}{[HI]^2} \qquad \frac{[H_2][I_2]}{2[HI]} \qquad \frac{[H_2][I_2]}{[HI]}$$

۱ـ برای مثال به جای $[HI] = ۲$ می‌خوانیم "غلظت یدیدئیدروژن برابر ۲ مول در لیتر است".

۲ـ داده‌های مربوط به آزمایشهای ۱، ۲ و ۳، از حرارت‌دادن مقادیرمختلف ید و ئیدروژن و تشکیل یدیدئیدروژن به‌دست آمده‌اند. بالعکس، داده‌های مربوط به آزمایشهای ۴ و ۵ از حرارت دادن یدیدئیدروژن خالص و تجزیهٔ جزئی آن به ید و ئیدروژن به‌دست آمده است. به همین دلیل مشاهده می‌کنید که غلظتهای ید و ئیدروژن در آزمایشهای ۴ و ۵ با هم برابرند.

جدول زیر نسبتهای سه‌گانه صفحه قبل را که برای پنج آزمایش قبلی محاسبه شده است نشان میدهد . به عنوان مثال نسبت سمت راست برای آزمایش اول به‌صورت زیر محاسبه شده و در جدول وارد شده است .

$$\frac{[H_2]\ [I_2]}{[HI]} = \frac{۱/۸۳ \times ۱۰^{-۳} \times ۳/۱۳ \times ۱۰^{-۳}}{۱۷/۶۶ \times ۱۰^{-۳}} = ۳/۲۴ \times ۱۰^{-۴}$$

$\frac{[H_2]\ [I_2]}{[HI]^2}$	$\frac{[H_2]\ [I_2]}{2[HI]}$	$\frac{[H_2]\ [I_2]}{[HI]}$	شمارهٔ آزمایش
$۱/۸۳ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۶۲ \times ۱۰^{-۴}$	$۳/۲۴ \times ۱۰^{-۴}$	۱
$۱/۸۳ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۵۱ \times ۱۰^{-۴}$	$۳/۰۲ \times ۱۰^{-۴}$	۲
$۱/۸۵ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۲۵ \times ۱۰^{-۴}$	$۲/۵ \times ۱۰^{-۴}$	۳
$۱/۸۵ \times ۱۰^{-۲}$	$۰/۳۲ \times ۱۰^{-۴}$	$۰/۶۵ \times ۱۰^{-۴}$	۴
$۱/۸۴ \times ۱۰^{-۲}$	$۰/۷۷ \times ۱۰^{-۴}$	$۱/۵۵ \times ۱۰^{-۴}$	۵
نسبت ثابت است (مقدار متوسط آن $۱/۸۴ \times ۱۰^{-۲}$)	نسبت متغیر است	نسبت متغیر است	

چنان که ملاحظه می‌شود ، مقادیر ستون سوم در تمام آزمایشها با هم برابر است . بنابراین در دمای ۴۲۵°C می‌توان نوشت :

$$\frac{[H_2]\ [I_2]}{[HI]^2} = ۱/۸۴ \times ۱۰^{-۲} = K$$ ثابت تعادل در ۴۲۵°C

همان‌طوری که می‌بینید این نسبت از یک مقدار کسری بدست آمده که صورت آن حاصل‌ضرب غلظتهای تعادلی ئیدروژن و ید است . این اجزا محصولات واکنش بشمار می‌روند . مخرج کسر $[HI]^2$ نیز مجذور غلظت مادهٔ اولیه می‌باشد . در این نسبت کسری ، توان غلظت هر ماده برابر ضریبی است که در واکنش تعادلی $2HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$ دارد .

شاید اگر معادلهٔ تعادلی ترکیب ید و ئیدروژن را به‌صورت $HI + HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$ بنویسید ، مفهوم کسر نامبرده را بهتر درک خواهید کرد زیرا در این صورت $\frac{[H_2]\ [I_2]}{[HI]\ [HI]}$ خواهید

داشت که برابر $\frac{[H_2]\ [I_2]}{[HI]^2}$ می‌باشد .

تمرین

رابطهٔ ثابت تعادل را برای واکنش $2NH_3 \rightleftharpoons N_2 + 3H_2$ بنویسید .

۱۰ــ قانون تعادل شیمیایی

دو مثال تعادلی قبل مربوط به سیستمهای گازی و محلول همراه با بسیاری مثالهای دیگر ما را به یک تعمیم کلی می‌رساند . این تعمیم "قانون تعادل شیمیایی" نام دارد . طبق این قانون برای واکنش کلی $a\,A + b\,B \rightleftharpoons c\,C + d\,D$

به هنگام تعادل ، رابطهٔ ساده‌ای بین غلظتهای تعادلی مواد تولیدشده یعنی [C]و[D] و غلظتهای مواد اولیه یعنی [A] و [B] به‌صورت زیر وجود دارد .

$$\text{مقدار ثابت تعادل در دمای ثابت} = K = \frac{[C]^c\,[D]^d}{[A]^a\,[B]^b}$$

همان‌طوری که می‌بینید رابطهٔ ثابت تعادل را به‌صورت حاصل‌ضرب غلظتهای مولی اجزای سمت راست به حاصل‌ضرب غلظتهای مولی اجزای سمت چپ می‌نویسیم و غلظت هر جزء را به توان ضریبی که آن جزء در معادله موازنه شده دارد می‌رسانیم .

جدول صفحهٔ بعد مثالهای گوناگون دربارهٔ رابطهٔ قانون تعادل و مقدار عددی ثابت آن نشان می‌دهد .

۱۱ــ مفهوم ثابت تعادل و مقدار عددی آن

چند نکتهٔ مهم به شرح زیر در جدول صفحهٔ بعد جلب توجه می‌کند :

۱ــ عدد K ممکن است بسیار بزرگ ، متوسط و یا بسیار کوچک باشد .[1]

۲ــ فقط از راه آزمایش است که می‌توان به مقدار عددی K پی برد .

۳ــ هرگاه مقدار عددی K بزرگ باشد ، نتیجه می‌گیریم که یا صورت کسر بزرگ است یا مخرج آن کوچک می‌باشد . درهر صورت بزرگ بودن K نشانهٔ غلظت زیاد محصولات عمل نسبت به مواد اولیه است . برای مثال ، بزرگ بودن K در واکنش می‌رساند که با فرو بردن مس فلزی در



$$Cu + 2Ag^+ \rightleftharpoons Cu^{2+} + 2Ag$$

۱ــ در فصل سوم (محلولها و تعادلهای یونی) با اعداد K بسیار کوچکتری آشنا خواهید شد .

واکنش	رابطهٔ قانون تعادل	دما °C	مقدار
[1] $Cu + 2Ag^{+} \rightleftharpoons Cu^{2+} + 2Ag$ (جامد) (آبی) (آبی) (جامد)	$\frac{[Cu^{2+}]}{[Ag^{+}]^2} = K$	۲۵	۲×۱۰^{۱۵}
$2NO + O_2 \rightleftharpoons 2NO_2$ (گاز) (گاز) (گاز)	$\frac{[NO_2]^2}{[NO]^2[O_2]} = K$	۲۵	$۱/۷\times۱۰^{۱۲}$
$N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$ (گاز) (گاز)	$\frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = K$	۵۵	۰/۸۷
$2HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$ (گاز) (گاز) (گاز)	$\frac{[H_2]\ [I_2]}{[HI]^2} = K$	۴۲۳	۰/۰۱۸
$CH_3COOH \rightleftharpoons H^{+} + CH_3COO^{-}$ (آبی) (آبی) (آبی)	$\frac{[H^{+}]\ [CH_3COO^{-}]}{[CH_3COOH]} = K$	۲۵	$۱/۸\times۱۰^{-۵}$

محلول نیترات نقره پیشرفت واکنش به اندازه‌ای زیاد است که در حال تعادل غلظت یون مس (Cu^{2+}) حاصل به مراتب بیش از غلظت یون نقره(Ag^{+}) است . آزمایش نیز صحت این نتیجه‌گیری را ثابت‌می‌کند . مطابق شرح پاورقـــی زیـــر ، با وارد کردن میلهٔ مسی در محلول نیترات نقره ، پیشرفت سریع واکنش به سمت راست مشاهده می‌شود . آشکار شدن بلورهای نقرهٔ فلزی روی میلهٔ مسی همراه با پیدایش رنگ آبی مربوط به یونهای مس دلیل روشنی برای این گفته است .

۴ــ کوچک بودن عدد K عکس مفهوم قبلی را دارد و می‌رساند که هنگام برقراری تعادل ، نسبت محصولات واکنش به مواد اولیه کم است . برای مثال کوچک بودن مقدار K در واکنش تعادلی $CH_3COOH \rightleftharpoons H^{+} + CH_3COO^{-}$ نشانهٔ آن‌است که اسید استیک به مقدارکم تفکیک می‌شود و از این رو اسید ضعیفی به‌شمار می‌رود .

۵ــ در مورد واکنش $Cu + 2Ag^{+} \rightleftharpoons 2Ag + Cu^{2+}$ انتظار دارید که رابطهٔ قانون
(جامد) (آبی) (جامد) (آبی)

۱ــ این واکنش از واردکردن یک سیم یا میلهٔ‌مسی درمحلول نیترات نقره انجام می‌گیرد . فرمول کامل معادله به قرار زیر است :



$$Cu + 2AgNo_3 \rightleftharpoons Cu(NO_3)_2 + 2Ag$$

و بررسی تفصیلی آن در فصل چهارم (اکسیداسیون و احیاء) انجام می‌گیرد .

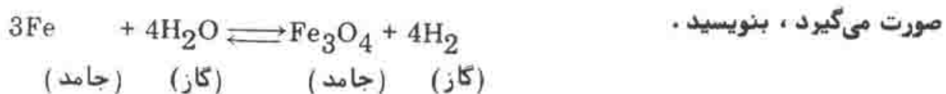
تعادل برای آن به‌صورت زیر نوشته شود .

$$\frac{[Cu^{2+}]\ [Ag]^2}{[Cu]\ [Ag^+]^2} = K$$

دراین‌موارد غلظت مواد جامد را ثابت می‌گیرند و از وارد کردن آن دررابطهٔ ثابت تعادل صرفنظر می‌کنند . در نتیجه $[Ag]^2$ و $[Cu]$ از رابطهٔ بالا حذف می‌شوند . و رابطهٔ کلی به‌صورت زیر درمی‌آید .

$$\frac{[Cu^{2+}]}{[Ag^+]^2} = K$$

پرسش ــ رابطهٔ قانون تعادل را برای واکنش بخار آب با آهن گداخته که مطابق فرمول زیر صورت می‌گیرد ، بنویسید .

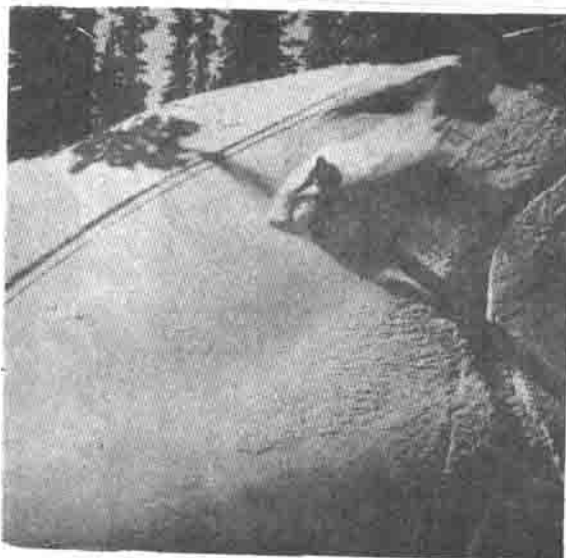


$$\underset{(\text{جامد})}{3Fe} + \underset{(\text{گاز})}{4H_2O} \rightleftharpoons \underset{(\text{جامد})}{Fe_3O_4} + \underset{(\text{گاز})}{4H_2}$$

۱۲ـ عوامل موثر در انجام‌پذیربودن واکنش

چرا یک واکنش متمایل به تولید مواد سمت راست معادله و واکنش دیگری متمایل به تولید مواد سمت چپ معادله است ؟ چرا تعادل مربوط به واکنش آهن برای ترکیب با اکسیژن و تولید زنگ آهن تمایل دارد ولی طلا برای واکنش با اکسیژن تمایلی نشان نمی‌دهد ؟ اصولا" چه عاملی بزرگ بودن یا کوچک بودن مقدار ثابت تعادل K را مشخص می‌نماید ؟

اینها پرسشهای مشکلی هستند که در این سطح باید روشهای ساده‌ای برای پاسخ دادن به آنها پیدا کرد . همواره در کتاب شیمی سال قبل و در این کتاب گفته شده است ، که علم فقط برای جمع‌آوری واقعیتها و یا کشف روابط میان آنها نیست . دراین‌مورد ، وظیفهٔ علم این نیست که مشخص کند که پیشرفت چه واکنشی زیاد و یا قابلیت حل شدن چه ماده‌ای کم است . مهمترین نقش علم ، اضافه برجمع‌آوری واقعیتهای‌علمی ، تحقیق دربارهٔ علت پیش‌آمدن آنها و جستجوی





نظامهایی است که توانایی پیشگویی ما را دربارهٔ پدیده‌ها و نظامهای مشابه افزایش دهد .

تفسیریک‌واقعیت ممکن است از راه تشبیه سیستم مورد مطالعه با یک مدل یا سیستم دیگری باشد که با آن آشنایی بیشتری داریم . برای کمک در رسیدن به پاسخ پرسشهای مطرح شدهٔ فوق به مثالهای زیر توجه کنید .

ریزش آب از آبشار یا سرخوردن اسکی‌باز در سرازیری تپه هرگز برای ما شگفت‌آور نیست . هم آب و هم اسکی‌باز خود به خود از شرایطی که انرژی پتانسیل بالاتری دارد به شرایطی که انرژی پتانسیل آن کمتر است ، جابه‌جا می‌شوند .

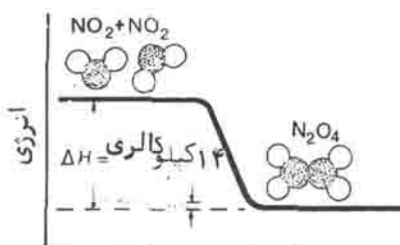
مشاهدات و تجربیات روزمرهٔ ما در زندگی نشان می‌دهد که سیستمها همواره میل دارند که خود به خود از موقعیتی که انرژی پتانسیل بیشتری دارد به موقعیتی که انرژی پتانسیل کمتری دارد ، انتقال یابند . مقداری از انرژی پتانسیل دراین انتقال به انرژی جنبشی و سرانجام گرما تبدیل می‌گردد .

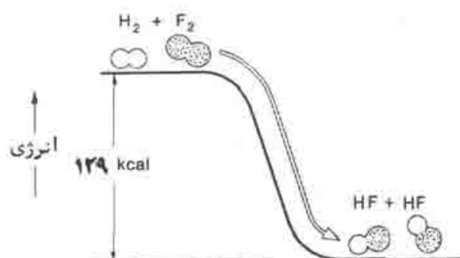
سیستمهای‌شیمیایی‌رانیز کم و بیش می‌توان با مثالهای ریزش آب یا اسکی‌بازی وسرخوردن شخص در سرازیری یک مسیر شیب‌دار تشبیه کرد . به یاد دارید که واکنشهای شیمیایی شامل گسستن پیوندها دربرخی‌مواد و تشکیل پیوندها درمواد دیگراست . چنین تغییری در پیوندهای شیمیایی همراه با تغییردرانرژی‌می‌باشد . شکل زیر دومورد از تغییرانرژی در واکنشهای شیمیایی گرمازا را نشان می‌دهد که در یکی ، تغییر انرژی بسیار زیاد و در دیگری کم است .

این بررسیها ما را به یک تعمیم می‌رساند :

"سیستمهای شیمیایی ، خود به خود از موقعیتی که دارای انرژی بیشتراست به موقعیتی که انرژی کمتری دارد پیش می‌رود" . به عبارت دیگر واکنشی خودبه‌خود پیشرفت می‌کند که محتوای انرژی محصولات عمل درآن کمتر از محتوای انرژی مواد اولیه می‌باشد . انرژی‌نیز درجریان این تغییرات به انرژی جنبشی مولکولها تبدیل می‌شود و معمولاً بصورت گرما آشکار می‌گردد .

تعمیم فوق با اغلب مشاهدات و تجربیات ما تطبیق می‌نماید . درستی آن بویژه در واکنشهایی که انرژی زیادی آزاد می‌کنند به‌خوبی ثابت می‌شود .





درحین انجام‌واکنش انرژی پتانسیل تغییر می‌کند

یک محدودیت : مسئلهٔ قابل تأمل این است که این تعمیم منطقی که بر اساس تشبیه و تمثیل با پدیده‌های گوناگونی چون ریزش آب یا سقوط اجسام از بلندی به‌دست آمده است ، در مواردی دچار محدودیت و اشکال می‌شود . در افسانهٔ موجودات مریخی کتاب شیمی سال گذشته آمده است که تعمیم این موجودات در مورد سوختن اجسام استوانه‌ای به موانع و واقعیتهای متعددی برخورد کرده و آنها ناچار به اصلاح و تعدیل تعمیم خود دست زدند .

دو مورد اشکال دربارهٔ ربط دادن علت پیشرفت واکنش با پایین‌آمدن سطح انرژی به شرح زیر است :

۱ــ مطابق تعمیم فوق ، چنین پیشگویی می‌کنیم که فقط واکنشهای گرمازا پس از شروع ، خود به‌خود انجام می‌گیرند ولی در عمل ، پدیده‌ها و واکنشهای گرماگیری نیز پیدا می‌کنیم که بازهم خودبه‌خود انجام می‌گیرند . بجاست که تبخیر مایعاتی نظیر آب را مثال بزنیم . کاملا" مشهود است که تبخیر آب یک فرآیند گرماگیر است و سطح انرژی در آن "به پایین نمی‌غلتد" . سیستم خودبه‌خود از سطح انرژی پتانسیل پایین‌تر به سطح انرژی پتانسیل بالاتر پیش می‌رود !

به آزمایش زیر نیز توجه کنید :

آزمایش ــ ابزار و مواد مورد نیاز : لولهٔ آزمایش ، کلرید آمونیم .

تا $\frac{1}{3}$ لولهٔ آزمایش آب بریزید و در آن یک قاشق چایخوری نمک نشادر (کلرید آمونیم) بریزید . دهانهٔ لوله را با انگشت خود ببندید و هم بزنید . چه احساس می‌کنید ؟ سطح انرژی سیستم بالا می‌رود یا پایین می‌آید ؟ فرآیند حل شدن کلرید آمونیم در آب گرماگیر یا گرمازاست ؟

جدول زیر قابلیت حل شدن این نمک را در آب در دماهای گوناگون نشان می‌دهد :

دما (°C)	قابلیت حل شدن (با واحد گرم نمک در یک لیتر آب)
۰	۲۹۰
۱۰	۳۳۰
۲۰	۳۷۰
۳۰	۴۱۰

افزایش دما چه اثری بر قابلیت حل شدن این نمک دارد ؟ سطح انرژی مواد اولیه بالاتر است یا مواد تولید شده ؟ آیا اطلاعات به‌دست‌آمده از جدول با رابطهٔ تعادلی زیر توافق دارد ؟



NH_4Cl + انرژی $\rightleftharpoons NH_4^+ + Cl^-$
(جامد)　　(آبی)　(آبی)

کدام یک از دو واکنش تعادلی گرماگیر و کدام یک گرمازاست ؟ شاید بدانید که حل شدن

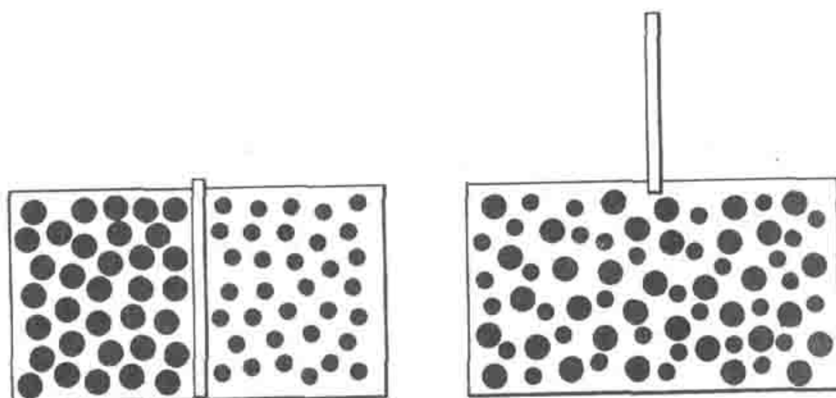
اسید سولفوریک غلیظ در آب گرمازا می‌باشد. چه تفاوتی میان حل شدن این اسید در آب با حل شدن کلریدآمونیم درآب وجود دارد؟ چرا فرآیند حل شدن کلریدآمونیم با وجود گرماگیر بودن انجام‌پذیراست؟

۲ــ واکنشهای شیمیایی که خود به خود انجام می‌گیرند همیشه تا سرحد کمال پیشرفت نمی‌کنند. به زبان دیگر این واکنشها آن‌قدر پیش نمی‌رود که تمام موادی که بر هم اثر می‌کنند به مواد تولید شده تبدیل گردند. با وجود گرمازا بودن این واکنشها و انتقال به سطح انرژی پایین‌تر مشاهده می‌شود که عمل تا مرز پیدایش تعادل پیش می‌رود و از آن حد تجاوز نمی‌کند. (در مثال آبشار یا اسکی‌بازی، هرگاه مانعی در راه نباشد. غلتیدن به سوی سطح انرژی پایین‌تر ادامه پیدا می‌کند درحالی‌که واکنش گرمازای ترکیب $2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4$ به سرحد کمال نمی‌رسد).
چرا چنین تضادهایی با تعمیم کلی ما وجود دارد؟ چگونه می‌توان این تعمیم را اصلاح کرد؟

۱۳- بی‌نظمی وشرایط تعادل

چه عاملی به جز مسئلهٔ پایین‌آمدن سطح انرژی در تعیین موقعیت یک واکنش تعادلی مؤثر است؟ دانشمندان این عامل را تشخیص داده و آن را "میزان بی‌نظمی سیستم" نام نهاده‌اند. "تمایل‌کلی‌اشیا و ذرات برای بی‌نظمی (Disorder) و کسب آرایش بدون قاعده یا تصادفی (Random)، یکی از مهمترین قوانین طبیعت را تشکیل می‌دهد". در توصیف این عامل می‌گویند که هر سیستمی تمایل به بی‌نظمی و کسب آرایش تصادفی دارد مگر این که با صرف انرژی، از انجام یافتن آن جلوگیری شود.

هرگاه مشتی تیلهٔ رنگین را از بالای پلکان به پایین بریزید، به‌طور نامنظم و تصادفی به هر سو پخش می‌شوند. جهت‌گیری تیله‌ها ضمن سقوط از پله‌ای به پلهٔ دیگر طوری نیست که هر دسته‌ای که رنگ یکسان دارند به یک سو بروند و یا همهٔ آنها در یک نقطه گرد هم آیند.
تمایل به بی‌نظمی ازمشخصات‌اساسی سیستمهای شیمیایی نیز به‌شمارمی‌رود. هرگاه مطابق



شکل صفحهٔ قبل ، ظرف محتوی گاز نئون را به ظرف محتوی گاز هلیم که در تحت همان فشار است ، وصل کنیم ، مولکولهای دو گاز بدون رعایت هرگونه نظمی با یکدیگر مخلوط شده و سرانجام مخلوط یکنواختی از دو گاز بوجود می‌آید .

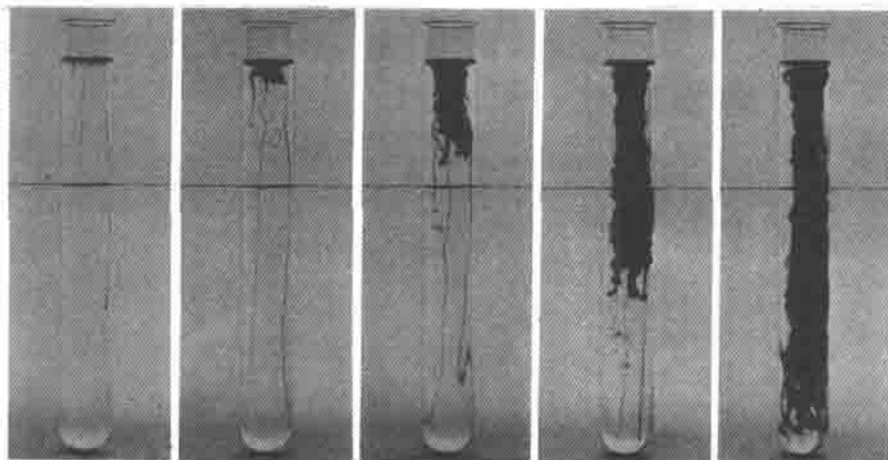
هرگاه اراده کنیم که مولکولهای دو گاز را مجددا" از یکدیگر جدا کنیم و نوعی نظم به آنها بدهیم (مولکولهای نئون را دریک ظرف و مولکولهای هلیم را در ظرف دیگری قرار دهیم) ، باید انرژی مصرف کنیم و اعمال به‌خصوصی را انجام دهیم . به زبان دیگر تفکیک مولکولها خودبه‌خود انجام نمی‌گیرد ، درحالی‌که مخلوط شدن آنها به‌آسانی و خودبه‌خود صورت می‌گیرد ، زیرا تمایل طبیعی ذره‌ها به‌سوی بی‌نظمی است .

هرگاه مطابق شکل زیر دوقطره جوهر (یا چنددانه بلورمادهٔ رنگین مانند پرمنگنات پتاسیم یا مغزمدادکپیه) را درظرف محتوی آب بریزیم ، مادهٔ رنگین به‌تدریج سراسر مایع را فرامی‌گیرد . اگر به‌جای آب سرد از آب گرم استفاده کنیم ، می‌بینیم که پخش شدن رنگ و رسیدن سیستم به رنگ یکنواخت زودتر انجام می‌گیرد . این پدیده را چنین توجیه می‌کنیم که افزایش دما باعث افزایش سرعت حرکت مولکولها و تسریع در ، درهم رفتن آنها می‌شود .

در این مثال نیز مانند مثال قبلی هرگز تمایل معکوسی برای جدا شدن مواد از یکدیگر نمی‌بینیم . مادهٔ رنگین که درآب حل می‌شود ، خودبه‌خود از محلول جدا نمی‌شود ، و به‌صورت بلورهای رنگی اولیه درنمی‌آید مگراین‌که کاری انجام بگیرد و عوامل دیگری بر سیستم اثر نمایند .

چنین به‌نظر می‌رسد که تمایل طبیعی موجود در طبیعت برای رسیدن به حالت حداکثر بی‌نظمی در شرایط تعادل و جهت‌گیری واکنشهای شیمیایی اهمیت دارد . هر چه بر بی‌نظمی اتمها و مولکولها افزوده گردد ، بی‌نظمی سیستم بیشتر شده و به گونه‌ای واکنش تعادلی را به یک سو می‌کشاند . بجاست که مثال ساده‌ای چون تبخیر مایع را مورد توجه قرار دهیم .

هرگاه یک لیوان آب را برای مدتی در اطاق قرار دهیم پس‌از مدتی آب تبخیر میشود . با توجه باینکه سطح انرژی ملکولی آب در حالت گازی بالاتر از سطح انرژی آن درحالت مایع است



چه توجیهی برای این پدیده دارید؟

بجاست که تعمیمهایی را که دراین بررسیها به‌دست آورده‌ایم ، در مورد تعادلهای شیمیایی به‌کار ببریم .

۱ـ اغلب سیستمها تمایل دارند که به حالت تعادل برسند .

۲ـ نخستین عامل تعیین‌کنندهٔ حالت تعادل یک سیستم ، محتوای انرژی آن می‌باشد . سیستمها تمایل‌دارند به حالتی که دارای حداقل انرژی است برسند . برای مثال آب در سرازیری پایین می‌آید و واکنشهای شیمیایی که به شدت گرمازا هستند پس از شروع ، خود به خود پیش می‌روند .

۳ـ دومین عاملی که در مشخص کردن حالت تعادل اهمیت دارد ، میزان بی‌نظمی سیستم است . بطور کلی سیستمهای تعادلی تمایل دارند که به حداکثر بی‌نظمی برسند .

۴ـ حالت تعادل نوعی "سازش" میان این دو عامل است : عامل انرژی حداقل و عامل بی‌نظمی حداکثر .

دردماهای‌پایین ، عامل انرژی نقش مهمتری دارد و تعادل به سمت موادی جابه‌جا می‌شود که سطح انرژی در آنها به حداقل برسد .

برعکس در دماهای بالا عامل بی‌نظمی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند و تعادل در جهتی پیش می‌رود که در آن هم مواد اولیه و هم مواد تولید شده به حالت بی‌نظمی بیشتری برسند . در اینجا دیگر تفاوت در سطح انرژی نقش مهمی ندارد .

۱۴ـ مثال شیمیایی برای بررسی اثر دو عامل تمایل به انرژی حداقل و بی‌نظمی حداکثر

با واکنش ترکیب شدن جیوه با اکسیژن همچنین تجزیهٔ اکسید جیوه بوسیلهٔ گرما آشنایی دارید . در دمای متوسط حرارت دادن جیوه در اکسیژن برای تأمین انرژی اکتیواسیون و تشکیل پیوند میان اتمهای این دو عنصر کافی است . در این عمل اکسید جیوه قرمزرنگ تولید می‌شود و مقداری انرژی آزاد می‌گردد .



$$2Hg + O_2 \longrightarrow 2HgO + Q$$

این واکنش بطورکلی گرماراست و چنین پیش‌بینی می‌شود که خودبه‌خود پیش برود . آزمایش صحت این پیش‌بینی را تأیید می‌کند .

پرسش ۱ـ تشکیل پیوند میان اتمهای جیوه و اکسیژن در جهت افزایش بی‌نظمی و آزادی نسبی تحرک ذره‌ها یا در جهت مقید کردن آنها و کاهش بی‌نظمی می‌باشد؟

۲ـ انجام‌یافتن این واکنش اهمیت کدام‌یک از دو عامل فوق را نشان می‌دهد؟ تمایل به انرژی حداقل یا بی‌نظمی حداکثر؟

حال هرگاه دما را به بالاتر از ۴۰۰ برسانیم سرعت واکنش فوق کمتر شده و به‌جای آن

واکنش عکس انجام می‌گیرد ، یعنی اکسید جیوه مطابق واکنش زیر تجزیه می‌گردد .



$$2HgO + Q \longrightarrow 2Hg + O_2$$

بنابراین هرگاه دما به اندازهٔ کافی بالا باشد ، این واکنش با آن که گرماگیر است ، پیش می‌رود .

چگونه چنین چیزی ممکن است ؟ یک واکنش در دمای پایین در یک جهت پیش‌می‌رود و در دمای بالاتر در جهت عکس انجام می‌گردد ؟ اینجاست که عامل دوم یعنی تمایل به بی‌نظمی که در دمای بالاتر اثر عامل‌اول را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد ، آشکار می‌گردد . در این شرایط آزادی جنب و جوش و ارتعاشات ذره‌ها بیشتر شده و حرکت تصادفی آنها افزایش می‌یابد . هرگاه اثرعامل‌بی‌نظمی خیلی بیش از عامل‌آزادشدن انرژی باشد به‌جای آن که پیوندها تشکیل شوند ، فرآیند شکستن پیوندها انجام‌می‌گیرد ، تا جایی‌که در دماهای بسیاربالاتر مولکولها نیز به اتمها تجزیه می‌گردند .

۱۵ــ آیا می‌توان دربارهٔ پیشرفت یك واکنش پیش‌گویی کرد؟

با توجه به مطالب قبلی می‌توان واکنشهای شیمیایی را به سه دسته تقسیم کرد :

۱ــ واکنشهایی که گرمازا هستند و انجام‌یافتن آنها منجر به بالا رفتن بی‌نظمی سیستم می‌شود .

چنین واکنشهایی معمولاً با صرف مقدار کمی انرژی اکتیواسیون شروع شده و خود بخود پیش می‌روند مانند بسیاری از واکنشهای سوختن مواد سوختی و انفجار مواد منفجره که هم ، ازدیاد حجم (بالا رفتن درجهٔ بی‌نظمی) و هم ، تولید گرما (پایین آمدن سطح انرژی) همراه هستند . به‌عنوان مثال قسمت عمدهٔ گاز سوختنی منزل را بوتان (C_4H_{10}) تشکیل می‌دهد که واکنش سوختن آن را می‌توان به‌صورت زیر نوشت :



$$C_4H_{10} + \frac{13}{2}O_2 \longrightarrow 4\,CO_2 + 5H_2O + Q$$

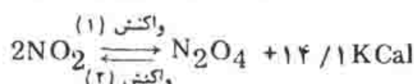
مثال دیگر ، واکنش ترکیب دی‌اکسیدنیتروژن با ئیدرازین می‌باشد که اغلب بعنوان سوخت مایع موشکها به‌کار می‌رود : $2N_2H_4 + 2NO_2 \longrightarrow 3N_2 + 4H_2O + Q$ این واکنشها معمولاً به آن علت که از هر دو نظر با تمایل طبیعت موافقت دارند برگشت‌پذیر نیستند و به‌حالت تعادل درنمی‌آیند .

۲ــ واکنشهایی که گرمازا هستند و انجام یافتن آنها منجر به پایین آمدن درجه بی‌نظمی سیستم می‌شود مانند سوختن منیزیم : $2Mg + O_2 \longrightarrow 2MgO + Q$

این واکنش در دمای پایین‌تر در جهت تولید اکسید منیزیم پیش می‌رود ولی اگر دما بالا رود به‌خاطرآنکه ازدیادبی‌نظمی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند درجهت عکس نیز انجام می‌گیرد . بسیاری از واکنشهای ترکیب مواد ساده با یکدیگر را می‌توان جزء این دسته بشمار آورد .

اینگونه واکنشها در دماهای بالا ممکن است به حالت تعادل درآیند . واکنش ترکیب جیوه با اکسیژن نمونهٔ دیگری از این نوع واکنشهاست که درصورتی‌که در یک سیستم بسته انجام شود ، در شرایط مناسب می‌تواند حالت تعادلی بخود بگیرد .

۳ــ واکنشهائی که گرماگیر هستند و انجام‌یافتن آنها منجر به بالا رفتن درجهٔ بی‌نظمی سیستم می‌شود . چنین واکنشهایی در دماهای خیلی پایین انجام‌پذیر نیستند ولی با بالا رفتن دما امکان انجام آنها بیشتر میشود . در این مورد چنانکه تغییرات انرژی در سیستم کم باشد ممکن است واکنش در دماهای معمولی نیز به حالت تعادل درآید . واکنش زیر را درنظر بگیرید :



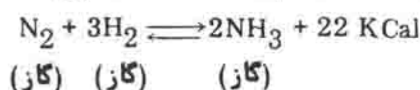
چنانکه می‌دانید این واکنش تعادلی مانند هر واکنش تعادلی دیگر مجموعه‌ای از دو واکنش می‌باشد . واکنش (۱) گرمازاست و چون انجام یافتن آن همراه با پائین آمدن سطح انرژی است پیشرفت می‌کند . انجام یافتن واکنش (۲) همراه با افزایش تعداد مولکولها و بالا رفتن درجهٔ بی‌نظمی سیستم می‌باشد ، پس این واکنش نیز انجام‌پذیر است . از طرفی چون تغییرات انرژی چندان زیاد نیست (۱۴/۱ کیلوکالری) ، این واکنش در دمای معمولی می‌تواند به حالت تعادل درآید . به یاد دارید که انتقال دادن ظرف محتوی NO_2 و N_2O_4 از آب جوش و آب سرد به آب معمولی منجر به ایجاد حالت تعادل جدیدی گردید . (آزمایش صفحهٔ ۱۴۲)

۱۶ـ امونیاک‌سازی ، کاربردی از اصول تعادل شیمیایی

آگاهی از قوانین و اصول شیمیایی ما را در حل مسائل فنی و تکنولوژی یاری می‌نماید . با کنترل شرایط واکنشها می‌توان مسائل گوناگون صنایع شیمیایی را حل کرد . تهیهٔ امونیاک در مقیاس صنعتی و اقتصادی مثال مناسبی برای بررسی این‌گونه مسائل است . این ماده اهمیت فراوانی در صنایع پتروشیمی ، کودهای شیمیایی ، مواد منفجره و رنگها دارد .

سنتز امونیاک مطابق روش هابر (Haber) ، دانشمند آلمانی ، با توجه به مفاهیم تعادل و اصل لوشاتلیه به قرار زیر است :

گازهای نیتروژن و ئیدروژن را در برجهای مخصوصی با یکدیگر ترکیب می‌کنند . می‌دانید که واکنش تشکیل آمونیاک برگشت‌پذیر است و سیستم به حالت تعادل می‌رسد .



آیا می‌توانید بهترین شرایط را برای تولید بیشترین محصول از گاز آمونیاک پیش‌بینی کنید ؟ آیا بجاست که سیستم را در دمای پایین یا بالا به حالت تعادل رسانید ؟

بطوری‌که ملاحظه می‌شود این واکنش گرمازاست . بنابراین مطابق اصل لوشاتلیه سردکردن دستگاه باعث جذب گرمای آزاد شده از سمت راست معادله شده و درنتیجه تعادل به‌سوی تولید

محصول آمونیاک جابه‌جا می‌شود .

پرسش ۱ــ گرم کردن دستگاه تعادلی چه اثری بر جا به جا شدن تعادل دارد؟ ۲ــ فشار چطور؟ آیا بجاست که دستگاه را در فشار پایین یا بالا به حالت تعادل برسانیم؟

چون این واکنش با نقصان حجم همراه است ، یعنی از سه حجم ئیدروژن و یک حجم نیتروژن ، (جمعا" چهار حجم در سمت چپ) ، فقط دو حجم گاز آمونیاک در سمت راست به‌دست می‌آید ، بنابراین مطابق اصل‌لوشاتلیه ، به‌کاربردن فشارهای زیاد باید درجهت افزایش محصول آمونیاک باشد . باتوجه به دو عامل دما و فشار چنین به‌نظرمی‌رسد که برای تأمین بازده مناسب باید برج واکنش در دمای پایین و فشار خیلی زیاد کار کند . در اینجا مشکلی پیش می‌آید . می‌دانیم که سرعت واکنشها در دمای پایین‌تر کمتر است (برخورد مؤثر مولکولها کمتراست) . در عمل نیز می‌بینیم که هرگاه دما پایین باشد ، واکنش قابل توجهی صورت نمی‌گیرد زیرا مولکول نیتروژن پایدار است و رفتار آن در شرایط عادی تقریبا" مانند یک گاز بی‌اثر می‌باشد . مولکول ئیدروژن نیز دراین‌شرایط پایداری قابل‌توجهی دارد .[1] بنابراین برای تأمین انرژی اکتیواسیون و رسانیدن این دو گاز به فعالیت مورد نیاز باید دما را بالا برد . برای آن که بالا بردن دما به میزان خیلی زیاد لازم نباشد دو کار انجام می‌دهیم

اول این که با استفاده از یک کاتالیزور مناسب ، انرژی اکتیواسیون را کاهش می‌دهیم . با استفاده از کاتالیزور[2] ، دمای $500^\circ C$ برای انجام واکنش کافی به‌نظر می‌رسد .

دوم این که برای جبران اثر نامطلوب افزایش دما تا حد $500^\circ C$ ، فشار را بالا می‌بریم . گرچه ازدیاد فشار در جهت افزایش بازده آمونیاک است ولی نمی‌توان فشار را به میزان خیلی زیاد افزایش داد زیرا عملا" باید برجی که واکنش در آن انجام می‌گیرد ، توانایی تحمل فشار زیاد و دمای $500^\circ C$ را داشته باشد . دربسیاری ازموارد فشاررا از ۳۵۰ اتمسفر بالاترنمی‌برند .

درشرایط $500^\circ C$ دما و ۳۵۰ اتمسفرفشار و درمجاورت کاتالیزور ، بازده آمونیاک درحدود ۳۰ درصد مقدار نظری است .[3]

برای جدا کردن محصول ، مخلوط گازی را به اندازهٔ کافی سرد می‌کنند تا آمونیاک مایع شود و از گازهای ئیدروژن و نیتروژن ترکیب نشده جدا شود . این گازها را مطابق شکل صفحهٔ بعد

۱ــ از فصل قبل به یاد دارید که چنانچه مخلوط ئیدروژن و اکسیژن را در یک ظرف داشته باشیم ، با این‌که واکنش تشکیل آب گرمازاست ، اثری از ترکیب مولکولهای این دو گاز دیده نمی‌شود ولی به محض ایجاد یک جرقهٔ الکتریکی ، واکنش با انفجار صورت می‌گیرد . در مورد سنتز آمونیاک ، ایجاد جرقهٔ الکتریکی در مخلوط نیتروژن و ئیدروژن مؤثر نیست .

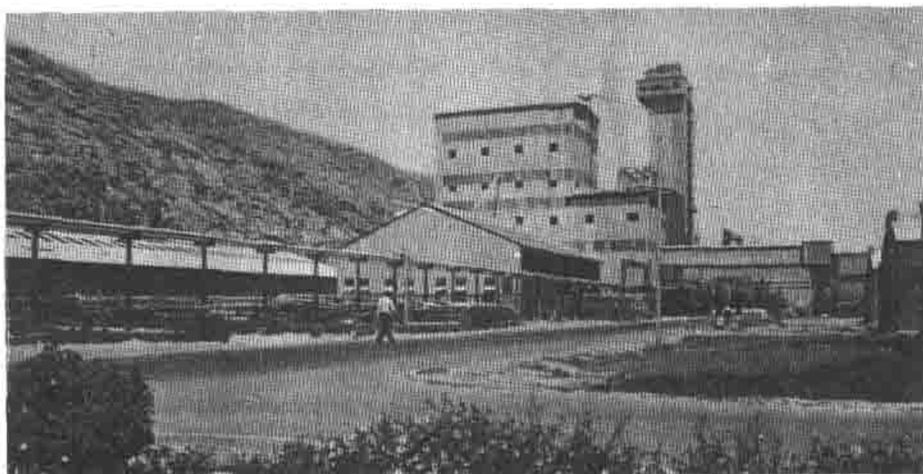
۲ــ کاتالیزور در اینجا ممکن است ، آهن یا اکسید آهن باشد .

۳ــ مقدار نظری مطابق معادلهٔ واکنش و با فرض این که عمل کاملا" به سمت راست پیش می‌رود ۱۰۰ درصد است .

مجددا" وارد برج آمونیاک سازی می‌کنند. پیش از جنگ‌جهانی‌اول، تقریبا" تنها منبع تهیهٔ ترکیبهای نیتروژن‌دار که برای ساختن مواد منفجره ضرورت دارد، معادن نیترات سدیم کشور شیلی بود. با محاصرهٔ دریایی آلمان در آغاز این جنگ، امکان دسترسی به معادن شیلی منتفی شد. کشف روش هابر برای تهیهٔ آمونیاک، باعث شد که آلمان به راه‌آسانتری برای تولید مواد منفجره دست یابد و بدین‌سان جنگ بین‌الملل اول سه سال دیگر ادامه یافت.

۱۷ـ امونیاک سازی و صنایع پتروشیمی ایران

می‌دانید که کارهای نفتی یکی از عظیم‌ترین منابع ثروت ملی کشور ماست. غیر از آنچه در اعماق زمین از این ماده به‌صورت طبیعی وجود دارد، با هر بشکه نفت خام که استخراج



قسمتی از گازهای نفت گچساران هم‌اکنون به‌وسیلهٔ خط لوله به کارخانهٔ کود شیمیایی شیراز انتقال می‌یابد تا به دهها هزار تن کودهای شیمیایی در سال تبدیل گردد.[1]

می‌شود بیش از ۵ متر مکعب گاز طبیعی به‌دست می‌آید. این گازها تا زمانی که طرحهای لوله‌کشی گاز و صنایع پتروشیمی به‌وجود نیامده بود، اغلب سوزانده می‌شد.

با پیدایش مجتمعهای عظیم پتروشیمی[2] دربندرخمینی، آبادان، خارک و شیراز مقادیر

۱ـ عکس از کتاب توسعهٔ اقتصادی و مسائل محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، خرداد ۱۳۵۴.

۲ـ برای پی‌بردن به اهمیت این مجتمعها بجاست که به برخی از فرآورده‌های مجتمع شیمیایی خمینی اشاره کنیم. مادهٔ اولیهٔ مهم در این مجتمع گازهای نفتی H_2S دار می‌باشد. محصول سالیانهٔ برخی فرآورده‌ها عبارت است از: آمونیاک ۱۷۰۰۰۰ تن، اوره (نوعی کود شیمیایی نیتروژن‌دار که از آمونیاک ساخته شود) ۱۵۰۰۰۰ تن گوگرد ۲۵۰۰۰۰ تن و اسیدفسفریک ۴۱۰۰۰ تن.

عظیمی گاز طبیعی و گازهای حاصل ازپالایش نفت برای تهیهٔ آمونیاک و فرآورده‌های آن ، همچنین دوده ، کائوچو ، مواد پلاستیک و دهها فرآوردهٔ گرانبهای دیگر به‌کار می‌رود . در حقیقت این امر راز کیمیاگری دوران کنونی ما را نشان می‌دهد که بتوان از شعله‌های سوزان گازهای نفتی طلا استخراج کنیم .

برای تهیهٔ آمونیاک همان‌طوری‌که می‌دانید ، مطابق روش هابر ، گازهای نیتروژن و ئیدروژن را با یکدیگر ترکیب می‌کنند .

گاز ئیدروژن از ترکیب بخار آب با گاز طبیعی که قسمت عمدهٔ آن متان است ، فراهم می‌گردد .[1]



سوزاندن گاز چاههای نفت که در منطقهٔ گچساران در جنوب ایران معمول بود هم اتلاف انرژی گرانبها و هم آلودگی محیط زیست را به دنبال داشت .[2]



$$CH_4 + 2H_2O \longrightarrow 4H_2 + CO_2$$

فشار ، گرما ، کاتالیزور

گاز نیتروژن را در صنعت آمونیاک‌سازی ایران از مایع کردن هوا و سپس تقطیر جزء به جزء آن به دست می‌آورند .

۱ـ در کشورهای اروپایی که دسترسی کمتری به گازهای نفتی دارند ، تاکنون مقدار زیادی از گازئیدروژن مورد نیاز خود را از راه عبوردادن بخار آب بر زغال گداخته به‌دست می‌آورند .



$$C + H_2O \rightleftharpoons H_2 + CO$$

۲ـ عکس از انتشارات شرکت ملی نفت ایران .

پرسش ۱ــ نقطهٔ جوش نیتروژن C°۱۹۵/۸ ــ و نقطهٔ جوش اکسیژن C°۱۸۳ ــ می‌باشد . در تقطیر هوای مایع کدام یک از این دو گاز زودتر می‌جوشد ؟

پرسش ۲ــ با استفاده از آمونیاک حاصل ، می‌توان کودهای نیتروژن‌دار گوناگونی تهیه‌کرد . چه راهی برای تهیهٔ کودهای سولفات آمونیم و نیترات آمونیم از آمونیاک پیشنهاد می‌کنید . معادلهٔ واکنش‌های مربوط را بنویسید .

تمرین

۱ــ یک بلور شکسته نمک را در محلول سیر شده‌ای از آب نمک قرار داده‌ایم . پس از مدتی شکل بلور تغییر کرد . علت را شرح دهید .

۲ــ کدام یک از مواد زیر حالت تعادل و کدام یک حالت ثابت دارد ؟ چرا ؟

الف ــ جیوهٔ مایع و بخار جیوه در دماسنج (دما ثابت است) .

ب ــ درسفینه‌های فضایی مقداری گرما به‌وسیلهٔ دستگاههای داخلی سفینه تولید می‌شود . در عین حال مقداری گرما به‌صورت تشعشع از سفینه خارج می‌گردد . این دو فرآیند ممکن است باعث ثابت ماندن دمای درون سفینه بشود .

پ ــ سد "امیر کبیر" و دریاچهٔ پشت آن ، فرض می‌کنیم که جریان آب رودخانهٔ کرج در دریاچه و جریان آب سد طوری است که ارتفاع آب دریاچه ثابت می‌باشد .

۳ــ می‌دانید که در تابستان ، بدن انسان به‌علت تعرق خنک می‌شود . بااستفاده‌از اصول تعادل توضیح دهید که چرا در مناطق مرطوب ، خنک شدن به‌سختی صورت می‌گیرد .

۴ــ در یک واکنش شیمیایی که به حالت تعادل رسیده است ، چه عامل به‌خصوصی "برابر است ؟

۵ــ یک قطره آب را در یک بطری خالی وارد می‌کنیم و در آن را می‌بندیم . ممکن است حالت تعادل میان بخارآب و مایع آن برقرار شود و ممکن است چنین تعادلی برقرار نگردد . چگونگی را توضیح دهید .

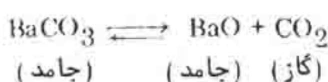
۶ــ آزمایشی پیشنهاد کنید که بوسیلهٔ آن بتوان دینامیک بودن تعادل شیمیایی را اثبات کرد .

۷ــ دما چه اثری بر حالت تعادل و ثابت آن دارد ؟

۸ــ چرا در گفتگو از تعادل شیمیایی همیشه غلظتها را به‌جای گرم ، برحسب مول در واحد حجم بیان می‌کنند ؟

۹ــ روابط قانون تعادل را برای واکنشهای زیر بنویسید :

الف ــ



ب ــ


$$2NO + O_2 \rightleftharpoons 2NO_2$$

(گاز) (گاز)

پ ــ


$$H_2O + C \rightleftharpoons H_2 + CO$$

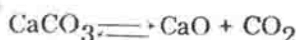
(گاز) (جامد) (گاز) (گاز)

ت ــ


$$H_2O + CO \rightleftharpoons H_2 + CO_2$$

(گاز) (گاز) (گاز) (گاز)

۱۰ــ معادلهٔ زیر برای سیستم تعادلی در دستگاه بسته مفروض است .



$$CaCO_3 \rightleftharpoons CaO + CO_2$$

(جامد) (جامد) (گاز)

اضافه شدن $CaCO_3$ دردمای‌ثابت ، چه‌اثری برغلظت CO_2 در بخش گازی دستگاه‌دارد؟ پاسخ خود را توضیح دهید .

۱۱ــ چگونه می‌توان پی‌برد که محلولی ازیک‌ماده مانند تیوسولفات سدیم ($Na_2S_2O_3$) سیر شده ، سیر نشده یا فوق اشباع است؟

۱۲ــ سه عاملی را که باعث برهم زدن سیستم تعادلی می‌شوند بیان کنید .

۱۳ــ مخلوطی از H_2او I_2 در دمای ۴۴۸°C در حال واکنش است . هنگام برقراری تعادل ، غلظتهای اجزای شرکت‌کننده به‌صورت زیر است :

$[H_2] = ۰/۴۶$ مول بر لیتر

$[I_2] = ۰/۳۹$ مول بر لیتر

$[HI] = ۳$ مول بر لیتر

مقدار عددی ثابت تعادل K را در دمای نامبردهٔ فوق حساب کنید .

۱۴ــ یک ظرف یک لیتری در دمای ۱۰۰۰°C ، در حالت تعادل ، دارای ۰/۱۰۲ مول گاز آمونیاک ، ۱/۰۳ مول گاز نیتروژن و ۱/۶۲ مول گاز ئیدروژن است . مقدار عددی K را برای سیستم تعادلی $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ (گاز) (گاز) (گاز) که برای واکنش این گازها بیان شده است ، حساب کنید .

۱۵ــ افزایش فشار چه اثری بر مواد اولیه و محصول عمل واکنش زیر دارد؟ فرض کنید که همهٔ مواد گازی شکل هستند :

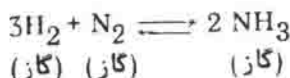


$$H_2 + F_2 \rightleftharpoons 2HF$$

۱۶ــ در واکنش تعادلی ($2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4 + ۱۴/۱\ KCal$) چگونه غلظت N_2O_4 تحت تأثیر عوامل زیر قرار می‌گیرد؟ چرا؟

الف ــ افزایش فشار ، ب ــ افزایش دما ، پ ــ اضافه کردن کاتالیزور .

۱۷ــ یک کاتالیزور چه تأثیری بر غلظتهای تعادلی یک واکنش دارد؟ چگونه آگاهی از اصل لوشاتلیه در تهیهٔ گاز آمونیاک مطابق واکنش زیر، کمک می‌نماید؟



۱۸ــ حل شدن KCl در آب یک فرآیند گرماگیر است تغییر دمای محلول چه اثری بر حل شدن KCl دارد؟ توضیح دهید.

۱۹ــ ثابتهای تعادلی برای سه واکنش گوناگون به قرار زیر است:

$K_1 = ۱/۵ \times ۱۰^{۱۲}$

$K_2 = ۰/۱۵$

$K_3 = ۴/۳ \times ۱۰^{-۱۵}$

در کدام یک از این واکنشها:

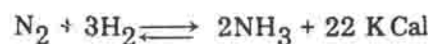
الف ــ نسبت محصولات عمل به مواد اولیه زیاد است؟

ب ــ نسبت محصولات عمل به مواد اولیه کم است؟

۲۰ــ از عوامل مؤثر بر سرعت واکنش، کدام یک تعادل را جابه‌جا می‌کند؟ کدام یک روی مقدار ثابت تعادل K اثر ندارد؟

۲۱ــ چنانچه در دمای ثابت، مخلوط در حال تعادل سیستم گازی $N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$ را از یک ظرف یک لیتری به یک ظرف نیم لیتری منتقل کنیم، چه تغییری روی می‌دهد؟ چرا؟ هرگاه مخلوط نامبرده را در دمای ثابت، از ظرف یک لیتری به ظرف ۲ لیتری منتقل کنیم چه روی می‌دهد؟ چرا؟

۲۲ــ تولید آمونیاک مطابق روش هابر شامل واکنش برگشت‌پذیر زیر می‌باشد.



الف ــ چهار راه گوناگون برای تغییر شرایط واکنش به قرار زیر است:

۱ــ افزایش دما، ۲ــ کاهش دما، ۳ــ افزایش فشار، ۴ــ کاهش فشار.

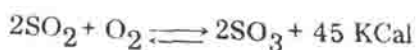
دو راه را از مجموع چهار راه فوق انتخاب کنید که طی آن بتوان محصول عمل را در کارخانهٔ آمونیاک‌سازی افزایش داد.

ب ــ هرگاه مقداری از آمونیاک حاصل را به سرعت از مخلوط تعادلی خارج سازیم چه تغییری بر شرایط حالت تعادل انجام می‌گیرد؟

پ ــ کاربرد یک کاتالیزور مناسب چه تأثیری بر سرعت رسیدن به حالت تعادل در این واکنش دارد؟

۲۳ــ افزایش فشار معمولاً تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر سرعت واکنش میان مواد جامد ندارد ولی سرعت واکنش گازها را افزایش می‌دهد، علت چیست؟

۲۴ــ معادلهٔ زیر واکنش تعادلی مربوط به صنعت اسید سولفوریک سازی را مطابق روش مجاورت نشان می‌دهد.



$$2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3 + 45\ KCal$$

(گاز) (گاز) (گاز)

تغییرات حاصل در غلظت SO_3 را در هر یک از موارد زیر بیان کنید:

الف ــ افزایش اکسیژن ، ب ــ حرارت دادن ، پ ــ افزایش فشار

ضمیمهٔ شمارهٔ ۲

وزن حجمی برخی جامدات، مایعات و گازها
(با گرم بر سانتیمتر مکعب)

فلز پلاتین	۲۱/۴	فلز آهن	۷/۸
فلز طلا	۱۹/۳	فلز آلومینیم	۲/۷
فلز جیوه	۱۳/۶	فلز لیتیم	۰/۵۳
فلز سرب	۱۱/۳	ید	۴/۹
فلز نقره	۱۰/۵	ترا کلرید کربن	۱/۶
فلز مس	۸/۹	آب	۱/۰۰
یخ	۰/۶۲	ئیدروژن مایع (در ۲۵۲°C−)	۰/۰۷
تولوئن	۰/۸۶	گاز دی اکسید کربن	$۱/۸\times ۱۰^{-۳}$
نفت سفید درحدود	۰/۷۲	گاز اکسیژن	$۱/۳\times ۱۰^{-۳}$
الکل چوب (متانول)	۰/۷۹	گاز نیتروژن	$۱/۲\times ۱۰^{-۳}$
چوب	۰/۶ تا ۰/۹	هوا در حدود	$۱/۳\times ۱۰^{-۳}$
چوب پنبه	۰/۲۲ تا ۰/۲۶	گاز ئیدروژن	$۸/۴\times ۱۰^{-۵}$
کربن (گرافیت)	۲/۲۶		
کربن (الماس)	۳/۵۱		
گوگرد	۲/۰۷		

ضمیمهٔ شمارهٔ ۳

جدول علامات اختصاری و اوزان اتمی تقریبی عناصر به ترتیب اعداد اتمی

عدد اتمی	نام عنصر	علامت عنصر	وزن اتمی	عدد اتمی	نام عنصر	علامت عنصر	وزن اتمی
۱	ئیدروژن	H	۱	۲۹	مس	Cu	۶۳/۵
۲	هلیم	He	۴	۳۰	روی	Zn	۶۵
۳	لیتیم	Li	۷	۳۱	گالیم	Ga	۶۹/۵
۴	بریلیم	Be	۹	۳۲	ژرمانیم	Ge	۷۲/۵
۵	بر	B	۱۱	۳۳	ارسنیک	As	۷۵
۶	کربن	C	۱۲	۳۴	سلنیم	Se	۷۹
۷	نیتروژن	N	۱۴	۳۵	برم	Br	۸۰
۸	اکسیژن	O	۱۶	۳۶	کریپتون	Kr	۸۳/۵
۹	فلوئور	F	۱۹	۳۷	روبیدیم	Rb	۸۵/۵
۱۰	نئون	Ne	۲۰	۳۸	استرنسیم	Sr	۸۷/۵
۱۱	سدیم	Na	۲۳	۳۹	ایتریم	Y	۸۹
۱۲	منیزیم	Mg	۲۴	۴۰	زیرکونیم	Zr	۹۱
۱۳	آلومینیم	Al	۲۷	۴۱	نیوبیم	Nb	۹۳
۱۴	سیلیسیم	Si	۲۸	۴۲	مولیبدن	Mo	۹۶
۱۵	فسفر	P	۳۱	۴۳	تکنسیم	Tc	۹۹*
۱۶	گوگرد	S	۳۲	۴۴	روتنیم	Ru	۱۰۱
۱۷	کلر	Cl	۳۵/۵	۴۵	رودیم	Rh	۱۰۳
۱۸	آرگن	Ar	۴۰	۴۶	پالادیم	Pd	۱۰۶/۵
۱۹	پتاسیم	K	۳۹	۴۷	نقره	Ag	۱۰۸
۲۰	کلسیم	Ca	۴۰	۴۸	کادمیم	Cd	۱۱۲/۵
۲۱	اسکاندیم	Sc	۴۵	۴۹	اندیم	In	۱۱۴/۵
۲۲	تیتانیم	Ti	۴۷	۵۰	قلع	Sn	۱۱۸/۵
۲۳	وانادیم	V	۵۱	۵۱	انتیموان	Sb	۱۲۱/۵
۲۴	کروم	Cr	۵۲	۵۲	تلور	Te	۱۲۷/۵
۲۵	منگنز	Mn	۵۵	۵۳	ید	I	۱۲۷
۲۶	آهن	Fe	۵۶	۵۴	گزنون	Xe	۱۳۱
۲۷	کبالت	Co	۵۹	۵۵	سزیم	Cs	۱۳۳
۲۸	نیکل	Ni	۵۸/۵	۵۶	باریم	Ba	۱۳۷

جدول علامات اختصاری واوزان اتمی تقریبی عناصر به‌ترتیب اعداد اتمی

عدد اتمی	نام عنصر	علامت عنصر	وزن اتمی	عدد اتمی	نام عنصر	علامت عنصر	وزن اتمی
۵۷	لانتانم	La	۱۳۹	۸۱	تالیم	Tl	۲۰۴
۵۸	سریم	Ce	۱۴۰	۸۲	سرب	Pb	۲۰۷
۵۹	پراسئودیمیم	Pr	۱۴۱	۸۳	بیسموت	Bi	۲۰۹
۶۰	نئودیمیم	Nd	۱۴۴	۸۴	پولولیم	Po	۲۱۰
۶۱	پرومتیم	Pm	۱۴۷	۸۵	استاتین	At	۲۱۰*
۶۲	ساماریم	Sm	۱۵۰/۵	۸۶	رادون	Rn	۲۲۲*
۶۳	اروپیم	Eu	۱۵۲	۸۷	فرانسیم	Fr	۲۲۳*
۶۴	گادولینیم	Gd	۱۵۷	۸۸	رادیم	Ra	۲۲۶*
۶۵	تربیم	Tb	۱۵۹	۸۹	آکتینیم	Ac	۲۲۷*
۶۶	دیسپرونیم	Dy	۱۶۲/۵	۹۰	توریم	Th	۲۳۲
۶۷	هولمیم	Ho	۱۶۵	۹۱	پروتاکتینیم	Pa	۲۳۱*
۶۸	اربیم	Er	۱۶۷	۹۲	اورانیم	U	۲۳۸
۶۹	تولیم	Tm	۱۶۹	۹۳	نپتونیم	Np	۲۳۷*
۷۰	ایتربیم	Yb	۱۷۳	۹۴	پلوتونیم	Pu	۲۴۲*
۷۱	لوتسیم	Lu	۱۷۵	۹۵	امریسیم	Am	۲۴۳*
۷۲	هافنیم	Hf	۱۷۸/۵	۹۶	کوریم	Cm	۲۴۷*
۷۳	تانتال	Ta	۱۸۱	۹۷	برکلیم	Bk	۲۴۹*
۷۴	تنگستن	W	۱۸۴	۹۸	کالیفورنیم	Cf	۲۵۱*
۷۵	رنیم	Re	۱۸۶	۹۹	اینشتینیم	Es	۲۵۴*
۷۶	اسمیم	Os	۱۹۰	۱۰۰	فرمیم	Fm	۲۵۳*
۷۷	ایریدیم	Ir	۱۹۲	۱۰۱	مندلویم	Md	۲۵۶*
۷۸	پلاتین	Pt	۱۹۵	۱۰۲	نوبلیم	No	۲۵۴*
۷۹	طلا	Au	۱۹۷	۱۰۳	لاورانسیم	Lw	۲۵۷*
۸۰	جیوه	Hg	۲۰۰/۵	۱۰۴	کورچاتوویم	Ku	۲۶۴*

اوزان اتمی عناصری که به علامت * مشخص شده مربوط به فراوانترین یا باثبات‌ترین ایزوتوپهای آن عنصر است .

ضمیمهٔ شمارهٔ ۴

جدول انرژی پیوند

نوع پیوند	انرژی پیوند کیلوکالری برمول	نوع پیوند	انرژی پیوند کیلو کالری برمول
H-H	۱۰۴	F-F	۳۷
O=O	۱۱۹	Cl-Cl	۵۸
O-H	۱۱۰	Br-Br	۴۶
C-H	۹۸	I-I	۳۶
N-H	۹۳	H-F	۱۳۴/۵
C-C	۸۳	H-Cl	۱۰۳
C-O	۸۵/۵	H-Br	۷۸/۵
S-H	۸۳	H-I	۷۱/۵
P-H	۷۶	C=O منوکسیدکربن	۲۵۶
N≡N	۲۲۵	C=O دی‌اکسیدکربن	۱۹۲
N-N	۳۹	N-O	۵۳
O-O	۳۵	NO پیونددرگاز	۱۵۰
S-S	۵۴		

مآخذ

در تألیف این کتاب اضافه بر توجه به تئوریهای آموزشی و هدفهای رفتاری از برخی نظریات ، مفاهیم، آزمایشها، تمرینها و شکلهای کتابهای زیر استفاده شده است :

۱ — Investigating Chemistry : Davies, Denial, Locke, Reay
1973, Heinemann Educational Books

۲ — Chemistry : Garrett, Richardson, Montague
1966, Ginn and Company.

۳ — طرح آموزش شیمی :
Chemistry An Investigative Approach : Cotton, Darlington, Lynch
1973, Houghton Mifflin Co.

۴ — Chemistry An Investigative Approach : Cotton, Lynch
1968, Houghton Mifflin Co.

۵ـ کتابهای طرح آموزش شیمی نافیلد
Nuffield Chemistry Project :
1971, Longman and Penguin

۶ — Foundations of Chemistry : Toom, Ellis, Brodkin.
1968, Holt, Ringhart and Winston Inc.

۷ — طرح آموزش شیمی :
Chemistry: Experiments and Principles : O'Connor, Davis Haenisch, MacNab, McCleuan
1968, Raytheon Education Co.

۸ـ طرح آموزش شیمی ،
Chemistry An Experimental Science :
Chem Study (Chemical Educational Material Study) :
Freeman and Company.

این کتاب توسط احمد خواجه نصیر طوسی به زبان فارسی برگردانده شده که "شیمی علم آزمایشی" نام گرفته است و از انتشارات فرانکلین میباشد. از مفاهیم این کتاب و کتاب آزمایشگاه آن نیز برای تألیف کتاب "شیمی دانشسرای راهنمایی " که توسط احمد خواجه نصیر طوسی تألیف شده، استفاده شده است. این کتاب نیز از انتشارات فرانکلین است.

۹ـ Chemistry : Choppin, Jaff, Summerlin, Jackson
1970 Silver Burdett Company

۱۰ـ Chemistry A Modern Course : Smoot, Price, Barrett
1968, Charles E. Merrill Co.

۱۱ـ Modern Chemistry : Metcalfe, Williams, Castka
1970 Holt Rinehart and Winston Inc.

این کتاب تحت نام "شیمی مدرن" توسط احمد رضا قلی‌زاده به فارسی برگردانده شده و توسط انتشارات امیرکبیر منتشر شده است.

۱۲ـ Chemistry by Concept : Spiers, Stebbens
1973, Heinemann Educational Books Ltd.

۱۳ـ طرح آموزش شیمی

Chemistry Experimental Foundations : Parry, Steiner, Tellefsen, Diets
1970, Prentice Hall Inc.

۱۴ـ طرح آموزش علوم فیزیکی

Interaction of Matter and Energy: Abraham, Balch, Chaney, Rohrbauch
1968, Rand Mcnally & Company

۱۵ـ An Introduction to Modern Chemistry : D. Abbott
1972, Hulton Educational Publications

۱۶ـ New UNESCO Source Book for Science Teaching
1973, UNESCO

۱۷ـ طرح آموزش شیمی

(C.B.A.) Chemical Systems :
Chemical Bond Approach
1964, McGraw-Hill Book Company

۱۸ـ طرح آموزش علوم فیزیکی

An Approach to Physical Science :
1969, John Wiley & Sons, Inc.

۱۹ـ Chemistry Takes Shape, Book 3 : Johnstone, Morrison
1970 Heinnemann Educational Books Ltd.

۲۰ـ Chemistry A Structural View : Stranks, Heffernan
Dow, McTigue, Withers.
1964 Melbourne University Press, Australia.

۲۱ـ Chemistry Magic : Swezey, 1957, Nicolas Kaye Ltd.

۲۲ — Modern Principles of Chemistry : Dorin
1971, Colledge Entrance Book Company

۲۳– طرح آموزش علوم فیزیکی
Introductory Physical Science (IPS) :
Schajm, Cross, Abeg, Dodge, Walter.
1972, Prentice — Hall Inc.

۲۴ — Chemistry : Sienro & Plane :
1971, McGraw Hill Inc.

۲۵ — Chemistry Introduction to Matter : Thomson
1973, Addison Wesley Company

۲۶ — Understanding Chemistry : Pimentel, Spratley
1971 Holden Day Inc.

۲۷ — Chemistry For Changing Times : J. W. Hill
1975, Burgess Publishing Company

۲۸ — Chemistry, A Conceptual Approach: Mortimer

۲۹– برخی انتشارات شرکت ملی نفت ایران
۳۰– برخی انتشارات سازمان ملی حفاظت محیط زیست .

